



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica**

**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica**

**Estudio geotécnico para el diseño del túnel dos de la Vía  
Evitamiento – Huánuco**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo**

**AUTOR**

**Eloy Martín Adrián CASTILLO BEZADA**

**ASESOR**

**Dr. Tomás Ezequiel GALLARDAY BOCANEGRA**

**Lima, Perú**

**2021**



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Castillo, E. (2021). *Estudio geotécnico para el diseño del túnel dos de la Vía Evitamiento – Huánuco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Hoja de metadatos complementarios

Código ORCID del autor	<a href="https://orcid.org/0000-0003-1113-7363">https://orcid.org/0000-0003-1113-7363</a>
DNI o pasaporte del autor	71705382
Código ORCID del asesor	<a href="https://orcid.org/0000-0003-1055-4237">https://orcid.org/0000-0003-1055-4237</a>
DNI o pasaporte del asesor	08009915
Grupo de investigación	-
Agencia financiadora	-
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Lugar (Distritos de Amarilis, ciudad de Huánuco, región de Huánuco). Coordenadas geográficas (9°56'22" S, 76°13'48" O).
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2018-2021
Disciplinas OCDE	Geociencias, Multidisciplinar: <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01</a>





## Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA  
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

### ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

De acuerdo a la Resolución Rectoral N° 01242-R-20, usando la plataforma virtual Google Meet el día lunes 12 de abril del año 2021 siendo las 15:00 horas, y luego de instalar el acto académico protocolar el Vicedecano Dr. Alfonso Alberto Romero Baylon en la presencia de los miembros del Jurado Calificador:

Ing. LOURDES JANET QUIÑONES LAVADO  
Ing. MAXIMIANA ROJAS CAMPOS  
Ing. JUAN MANUEL ELESCANO YUPANQUI

(Presidenta de Jurado)  
(Miembro de Jurado)  
(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico virtual público de colación de la Tesis del Bach. Sr. **ELOY MARTÍN ADRIÁN CASTILLO BEZADA**, quien sustentará virtualmente la Tesis titulada: «ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA EVITAMIENTO - HUÁNUCO», su asesor fue el docente Dr. Tomas Ezequiel Gallarday Bocanegra, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación virtual respectiva, plantearon virtualmente al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

#### A SATISFACCIÓN DEL JURADO

El Jurado procedió a la calificación virtual, cuyo resultado fue:

**APROBADO POR UNANIMIDAD CON NOTA DE (17) DIECISIETE**

Habiendo sido aprobada la Sustentación virtual de la Tesis por el Jurado Calificador, la Presidenta recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al Bach. **ELOY MARTÍN ADRIÁN CASTILLO BEZADA**.

Siendo las 16:20 horas se dio por concluido el acto académico virtual, expidiéndose dos (02) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, de abril de 2021

ING. LOURDES JANET QUIÑONES LAVADO  
PRESIDENTE DE JURADO

ING. MAXIMIANA ROJAS CAMPOS  
MIEMBRO DE JURADO

ING. JUAN MANUEL ELESCANO YUPANQUI  
MIEMBRO DE JURADO

## **RESUMEN**

En la actualidad, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) viene llevando a cabo el estudio definitivo de la vía Evitamiento de la ciudad de Huánuco, como vía alterna para aliviar la congestión vehicular de la ciudad. Dado el diseño vial propuesto para la zona, se refleja la necesidad de realizar la construcción de un túnel vial, al igual que otras infraestructuras a lo largo del eje de la carretera.

El túnel 2 tendrá una longitud de 310 metros, ubicado entre las progresivas km 5+720 y km 6+030, en donde las dimensiones de la sección de excavación dependerá del tipo de roca encontrado. Así mismo, el eje del túnel 2 atraviesa macizos rocosos pertenecientes al complejo del Marañón (principalmente compuesto por esquisto y gneis), los cuales se presentan un cierto grado de esquistosidad, se encuentran diaclasadas, fracturadas, meteorizadas y alteradas tanto en su composición química como física.

Es así que, para el diseño final del túnel, se ejecutó un programa de investigaciones geotécnicas, las mismas que comprenden: el levantamiento geológico a detalle de la zona, estaciones geomecánicas, ensayos geofísicos (sísmicos y geoeléctricos) y perforaciones diamantinas con ensayos permeabilidad, acompañados de ensayos de laboratorio a muestras representativas recolectadas de los trabajos en campo. Finalmente, con toda información disponible, se llevó a cabo la definición de un modelo geomecánico y de los parámetros geotécnicos para el diseño del túnel 2.

## TABLA DE CONTENIDO

## PÁGINA

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Contexto del problema .....	2
1.2	Formulación de los problemas .....	2
1.3	General .....	2
1.4	Justificación de la tesis.....	3
1.5	Objetivos de la tesis.....	3
2.	MARCO TEÓRICO .....	5
2.1	Antecedentes .....	5
2.2	Introducción.....	5
2.3	Clasificación geomecánica .....	7
2.4	Criterios de Rotura para Macizos Rocosos .....	21
2.5	Glosario.....	25
2.6	Hipótesis .....	29
3.	GENERALIDADES.....	30
3.1	Metodología.....	30
3.2	Rasgos del área de estudio .....	30
4.	EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL TÚNEL 2 .....	33
4.1	Geología regional .....	33
4.2	Geología local del túnel 2 .....	37
5.	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TÚNEL 2.....	41
5.1	Investigaciones de campo .....	41
5.2	Ensayos de laboratorio.....	59
6.	MODELO GEOMECAÍNICO.....	80
6.1	Caracterización geomecánica.....	80
6.2	Modelo geomecánico .....	88
7.	CONCLUSIONES.....	94
8.	RECOMENDACIONES .....	97

## TABLA DE CONTENIDO

(Continuación)

### PÁGINA

#### Lista de tablas

Tabla 1	<i>Calidad de la roca en base al RQD.....</i>	8
Tabla 2	<i>Estimación en campo de la resistencia en compresión simple o uniaxial.....</i>	10
Tabla 3	<i>Sistema de clasificación del macizo rocoso .....</i>	13
Tabla 4	<i>Orientación de las discontinuidades en el túnel.....</i>	14
Tabla 5	<i>Guía para la excavación y soporte de túneles de acuerdo con el RMR (Bieniawski, 1989).....</i>	14
Tabla 6	<i>Número de familia de discontinuidades (Jn).....</i>	16
Tabla 7	<i>Rugosidad de la discontinuidad más desfavorable (Jr) .....</i>	16
Tabla 8	<i>Grado de alteración o relleno de las paredes de las discontinuidades más débiles (Ja) .....</i>	17
Tabla 9	<i>Acción del agua subterránea (Jw).....</i>	18
Tabla 10	<i>Clasificación de Barton et al. (1974) para macizos rocosos ....</i>	18
Tabla 11	<i>Valores de la constante <math>m_i</math> para la matriz rocosa .....</i>	23
Tabla 12	<i>Resumen de líneas de refracción sísmica túnel 2 .....</i>	44
Tabla 13	<i>Resultado de los ensayos de refracción sísmica.....</i>	45
Tabla 14	<i>Resumen de ensayos MASW .....</i>	47
Tabla 15	<i>Resumen de los ensayos MAM .....</i>	48
Tabla 16	<i>Resumen de líneas de tomografía eléctrica túnel 2 .....</i>	51
Tabla 17	<i>Resumen de calicatas del túnel 2.....</i>	52
Tabla 18	<i>Resumen de ensayos de DPL del túnel 2.....</i>	54
Tabla 19	<i>Resumen de ensayo de estaciones geomecánicas del túnel 2 .....</i>	55
Tabla 20	<i>Resumen de ensayo de perforación diamantina .....</i>	56
Tabla 21	<i>Resumen de ensayos Lugeon .....</i>	59
Tabla 22	<i>Resumen de ensayos estándar de la perforación diamantina.....</i>	62
<b>Tabla 23</b>	<b><i>Resumen de propiedades físicas en estaciones geomecánicas .....</i></b>	<b>63</b>
Tabla 24	<i>Resumen de propiedades físicas en perforaciones .....</i>	64
Tabla 25	<i>Valor Generalizado de "C" .....</i>	66
<b>Tabla 26</b>	<b><i>Resumen de carga puntual en estaciones geomecánica ..</i></b>	<b>66</b>
Tabla 27	<i>Resumen de compresión uniaxial en rocas.....</i>	68
Tabla 28	<i>Resumen de ensayos propiedades elásticas en rocas.....</i>	69
Tabla 29	<i>Resumen de corte directo en rocas .....</i>	72
Tabla 30	<i>Resumen de compresión triaxial en rocas.....</i>	76
Tabla 31	<i>Resumen de ensayos de tracción indirecta en rocas .....</i>	77

## TABLA DE CONTENIDO

(Continuación)

### PÁGINA

Tabla 32	<i>Resultados de ensayos químicos – calicatas.....</i>	78
Tabla 33	<i>Resultados de ensayos químicos – perforaciones.....</i>	78
Tabla 34	<i>Límites permisibles de agresividad de la roca al concreto.....</i>	79
Tabla 35	<i>Parámetros de resistencia mediante estaciones geomecánicas.....</i>	80
Tabla 36	<i>Parámetros de resistencia mediante perforaciones diamantinas.....</i>	80
Tabla 37	<i>Resumen de la valoración del macizo rocoso mediante estaciones geomecánicas.....</i>	81
Tabla 38	<i>Resumen de la valoración del macizo rocoso en perforación diamantina.....</i>	82
Tabla 39	<i>Resumen de valoración del macizo rocoso (GSI) mediante estaciones geomecánicas.....</i>	83
Tabla 40	<i>Resumen de valoración del macizo rocoso (GSI) mediante perforaciones diamantinas.....</i>	84
Tabla 41	<i>Resumen final de la Valoración del macizo rocoso por RMR y GSI por tipo de roca (diseño).....</i>	85
Tabla 42	<i>Valoración de índice Q en función - estación geomecánica....</i>	85
Tabla 43	<i>Valoración de índice Q en función - perforaciones diamantinas.....</i>	85
Tabla 44	<i>Valoración final de índice Q por tipo de roca.....</i>	86
Tabla 45	<i>Valores asumidos de mi (diseño).....</i>	86
Tabla 46	<i>Resumen de parámetros de resistencia para el diseño de acuerdo con el Tipo de Roca.....</i>	87
Tabla 47	<i>Resumen de parámetros de resistencia de laboratorio.....</i>	88
Tabla 48	<i>Resumen de zonificación geomecánica.....</i>	90
Tabla 49	<i>Resumen de valoración RMR y índice Q para el diseño de sostenimiento.....</i>	93

### Lista de figuras

Figura 1	Medición y cálculo del RQD. ....	7
Figura 2	Índice GSI (índice de resistencia geológica) .....	20
Figura 3	Guía para la evaluación del factor D.....	22

## TABLA DE CONTENIDO

(Continuación)

### PÁGINA

Figura 4	Relación entre esfuerzos principales mayores y menores para el criterio generalizado de Hoek-Brown y correlación con el criterio de Mohr-Coulomb .....	24
Figura 5	Relación para el cálculo de $\sigma'_{3\max}$ como input para los criterios de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb en el caso de los túneles ....	25
Figura 6	Trazo del túnel 2. Imagen satelital, Google Earth.....	31
Figura 7	Columna estratigráfica regional del túnel 2. ....	36
Figura 8	Rangos de velocidades de ondas en rocas comunes y su ripabilidad. ....	43
Figura 9	Velocidades de ondas P y S de algunas rocas y otros materiales .....	47
Figura 10	Diferentes dispositivos usados en tomografía eléctrica: a) Dipolo-dipolo, b) Wenner-Schlumberger, c) Wenner, d) Polo-polo y e) Polo-dipolo.....	50
Figura 11	Interpretación de ensayo Lugeon. Houlsby, 1976 .....	58
Figura 12	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) .....	60
<b>Figura 13</b>	<b>Resumen de interacción entre límites y estados de la materia</b> .....	61
Figura 14	Carta de plasticidad de Casagrande.....	62
Figura 15	Ensayo de carga puntual .....	65
Figura 16	Configuración del ensayo, caja de corte directo con muestra encapsulada.....	71
Figura 17	Definición de resistencia cortante en superficie de discontinuidades: (a) ensayo de corte de directo sobre una discontinuidad, (b) Ploteo de desplazamiento de corte vs esfuerzo cortante, (c) Ploteo de resistencia máxima, (d) Ploteo de resistencia máxima y residual .....	71
Figura 18	Celda triaxial simple utilizada para analizar testigos de rocas en laboratorios de campo. La manga de sellado de goma está diseñada para retener el aceite de modo que la celda no necesite ser drenada entre pruebas. Las celdas están disponibles para acomodar una variedad de estándar tamaños de testigos. ....	73
Figura 19	Círculos típico de resistencia de Mohr-Coulomb .....	74
Figura 20	Envolvente de rotura del criterio de Hoek & Brown.....	75
Figura 21	Esquema de ensayo de tracción indirecta .....	77
Figura 22	Sección del modelo geomecánico.....	91
Figura 23	RQD y RMR ajustado vs progresiva .....	91

## TABLA DE CONTENIDO

(Continuación)

### PÁGINA

Figura 24	Índice de Q vs progresivas .....91
-----------	------------------------------------

### Lista de anexos

Anexo A	Panel fotográfico
Anexo B	Planos
	18-GT-SM-T2-01                      Geología regional
	18-GT-SM-T2-02                      Geología local
	18-GT-SM-T2-03                      Investigaciones geotécnicas
	18-GT-SM-T2-04                      Perfil geológico-geotécnico
	18-GT-SM-T2-05                      Parámetros geotécnicos
Anexo C	Exploración de campo
Anexo C.1	Ensayos geofísicos
Anexo C.2	Registro de calicatas
Anexo C.3	Ensayos DPL
Anexo C.4	Estaciones geomecánicas
Anexo C.5	Perforaciones diamantinas
Anexo D	Evaluación geomecánica
Anexo D.1	Valoración superficial del macizo rocoso
Anexo D.2	Registro RMR de las perforaciones
Anexo D.3	Análisis de discontinuidades
Anexo E	Parámetros geotécnicos

## **DEDICATORIA**

Abuelito Lucio, esto es en tu memoria.



## **AGRADECIMIENTOS**

Gratitud infinita a Milagros y Eloy, quienes saben lo que me costó iniciar y culminar esta etapa de mi vida, apoyándome y motivándome en todo el transcurso. Será una eterna deuda poder devolver sus esfuerzos, comprensión y amor sin condiciones.

A mi hermana Aldana, por su amistad poco convencional, ese amor típicamente anómalo de hermanos y comprensión durante la convivencia en el día a día.

Al Dr. Tomás Gallarday por su constante apoyo y sugerencias para poder desarrollar y culminar este trabajo.

A Juank, amigo del cole, quién me enseñó que la amistad verdadera sí existe y perdura a través del tiempo sin importar los vaivenes de la vida.

A mis amigos de la universidad, Quenaya, Rubén y Víctor que con buena onda y sus ocurrencias hicieron que esta etapa haya sido de las mejores en mi vida y aún ahora pueda conservar su amistad.

A mis amigos de CESEL, Joseph y Freddy que aparecieron con su amistad cuando menos lo esperaba, los cuales hicieron que mis primeros pasos en el mundo laboral sean agradables e inolvidables.

Agradezco a los Directivos de la empresa CESEL S.A. por las facilidades y oportunidad de participar en este proyecto.

Finalmente, a Mireya Díaz, por cada abrazo, paciencia, detalle, tiempo y amor durante la realización de este documento, soy realmente afortunado en tener a una persona como tú a mi lado.

## **1. INTRODUCCIÓN**

A lo largo del avance de las civilizaciones y sobre todo en los últimos crecimientos en su cantidad de habitantes, hace que se genere una mayor demanda de territorios de las naciones y con ello la necesidad de desarrollar una ingeniería competente para la correcta sostenibilidad a largo plazo, de las diferentes obras civiles que desafían la geología existente; es así como nace la ingeniería geotécnica, la misma que se ha venido desarrollando exponencialmente en las últimas décadas.

Actualmente, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), entidad del estado peruano, a través de Provías Nacional, ha encargado al consorcio CESEL - HOB, realizar el “Estudio de factibilidad y definitivo para la rehabilitación y mejoramiento de la carretera desvío Cerro de Pasco – Tingo María”, en el cual el túnel 2 proyectado, se encuentra entre las progresivas km 5+720 al km 6+030, formando parte de la vía de Evitamiento de la ciudad de Huánuco, en el distrito de Amarilis, el mismo que pertenece al tramo II del estudio que comprende desde el poblado de San Rafael (progresiva km 182+300 PE-3N) hasta ciudad de Huánuco (Progresiva km 14+000 PE-18A).

El proyecto comprende la construcción del túnel 2 de 310 m de longitud, con una sección útil de 11,20 m de ancho, altura de 7,56 m, un galibo de 5,50 y ancho de rodadura de 9,60 m, asimismo presentan secciones de excavación de 11,40 m x 8,12 m para roca tipo III, 11,65 m x 8,24 m para roca tipo IV y tipo V. Este túnel proyectado presenta un encampane máximo de 91 m en la parte central.

El eje del túnel 2 atraviesa macizos rocosos que pertenecen al complejo del Marañón (gneis y esquistos), cuyas características físicas se presentan diaclasadas, fracturadas, meteorizadas y alteradas tanto en su composición química como física. Para el diseño del túnel 2 se ha realizado un programa de investigaciones geotécnicas, las mismas que comprenden el desarrollo del

levantamiento geológico a detalle de la zona, ejecución de estaciones geomecánicas, ensayos geofísicos y perforaciones diamantinas, con los cuales se ha definido un modelo geomecánico y parámetros geotécnicos para el diseño del túnel 2.

### **1.1 Contexto del problema**

A la fecha, la alta demanda vehicular y la poca planificación urbana que se presenta en la ciudad de Huánuco ha generado una agobiante congestión vehicular, motivo por el cual se viene realizando el expediente técnico de la carretera de Cerro de Pasco a Tingo María, en donde se proyecta la vía de Evitamiento en la ciudad de Huánuco como alternativa de solución de la problemática. Así mismo, la proyección del eje de la carretera genera la necesidad de construir una vía asfaltada y dos túneles viales.

Por otro lado, el desarrollo de la construcción túnel vial frente a la construcción de una carretera presenta algunas ventajas, tales como:

- Menor impacto social y ambiental debido al mínimo impacto visual que genera la construcción de un túnel.
- Menor movimiento de tierra a comparación de los grandes taludes de corte que hubiera significado la construcción de una vía convencional.
- Soluciones de ingeniería más económicas y seguras durante el proceso constructivo a mediano y largo plazo.

### **1.2 Formulación de los problemas**

#### **1.3 General**

¿Cuáles son los problemas de tránsito dentro de la ciudad de Huánuco generado por la alta demanda vehicular y la poca planificación urbana?

### **1.3.1 Específicos**

- ¿Cuáles son las características geológicas a lo largo de las progresivas Km 5+720 al Km 6+030 de la carretera de Cerro de Pasco a Tingo María?
- ¿Qué ensayos en laboratorio y pruebas de campo serán necesarios para llevar a cabo el estudio geotécnico para este túnel vial?
- ¿Será necesario un modelo geológico-geotécnico para el estudio de un túnel vial?
- ¿Cuál es el impacto de las condiciones geotécnicas que se debe tener en cuenta para el diseño de sostenimiento de un túnel vial?

### **1.4 Justificación de la tesis**

El presente estudio pretende demostrar que la proyección del túnel 2 solucionará el problema de tránsito en la ciudad de Huánuco.

#### **1.4.1 Justificación teórica**

Con los estudios geomecánicos y geotécnicos obtendremos los parámetros que serán necesarios para realizar el modelo de la proyección de un túnel vial.

#### **1.4.2 Justificación práctica**

Realizado el túnel vial, se piensa que aliviará la alta congestión vehicular dentro de la ciudad de Huánuco, debido a que habrá otra vía adicional por donde circular.

### **1.5 Objetivos de la tesis**

#### **1.5.1 General**

Proponer una solución sostenible ante la problemática de la congestión vehicular en la ciudad de Huánuco a través de un estudio geotécnico para el diseño y ejecución de un túnel vial para la carretera de Cerro de Pasco a Tingo María, vía Evitamiento, Huánuco.

### **1.5.2 Específicos**

- Realizar el levantamiento geológico a detalle de la zona de estudio donde se construirá el túnel 2.
- Caracterizar geotécnicamente el eje túnel 2 con trabajos *insitu*, ensayos de laboratorio e interpretación de resultados.
- Elaborar el modelo geotécnico del túnel 2.
- Brindar recomendaciones geotécnicas para el diseño de sostenimiento del túnel 2.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes**

Las publicaciones de interés referidas a la zona de Huánuco son trabajos geológicos generalmente efectuados por franceses y por el INGEMMET.

Un estudio de amplitud regional es el publicado por Bernard Dalmayrac (1986), con el título “Estudio geológico de la cordillera oriental – región Huánuco”, el mismo que proporciona información geológica en un área de aproximadamente de 21 000 km<sup>2</sup>, situados en esta parte de la cordillera oriental del Perú central.

Otro estudio referido a lugares específicos en la zona de interés, son los trabajos de George Grandin, los cuales son titulados: “Estudio petrográfico de la serie Precambriana y de las rocas ígneas asociadas en el área de Huancapallac” (1980). El ORSTOM de Francia con INGEMMET, han realizado un estudio titulado: “Evidencias de una cadena pre-ordoviciana y probablemente pre-cámbrico, en la cordillera oriental del Perú central” – 1977 (región de Huánuco). Así mismo, existen otros pequeños reportes geológicos de la zona de estudio.

Ambos estudios fueron aprovechados principalmente para la comprensión *a priori* de la geología regional y petrografía del área de estudio. Estas investigaciones fueron de importancia para la etapa pre-campo ya que nos proporcionó una idea del tipo de material a esperar durante el cartografiado geológico. Adicionalmente, durante la etapa de gabinete, se emplearon para la complementación y confirmación de lo encontrado en campo.

### **2.2 Introducción**

A lo largo de los años, los grandes exponentes de la mecánica de rocas han desarrollado diferentes métodos empíricos que describen las experiencias ganadas en diversos estudios, construcciones y supervisiones de un sinnúmero de

proyectos alrededor del mundo, consolidando y sistematizando esas experiencias en metodologías que hoy conocemos con el nombre de “clasificaciones geomecánicas”.

Es de esperarse que, en las primeras etapas de diseño de proyectos en tunelería, exista normalmente información muy limitada del material sobre el cual se trabajará, en ese sentido, el uso de clasificaciones geomecánicas aporta una cantidad de información considerable y útil (e.g. datos geológicos, geotécnicos, geométricos y tensionales). Estas metodologías combinan evaluaciones visuales, registros de ensayos *insitu* y de laboratorio, todo ello para la obtención de parámetros que servirán de inputs para los cálculos ingenieriles correspondientes; sin embargo, existe el riesgo de cometer imprecisiones u obtener resultados que difieran a las condiciones reales del proyecto.

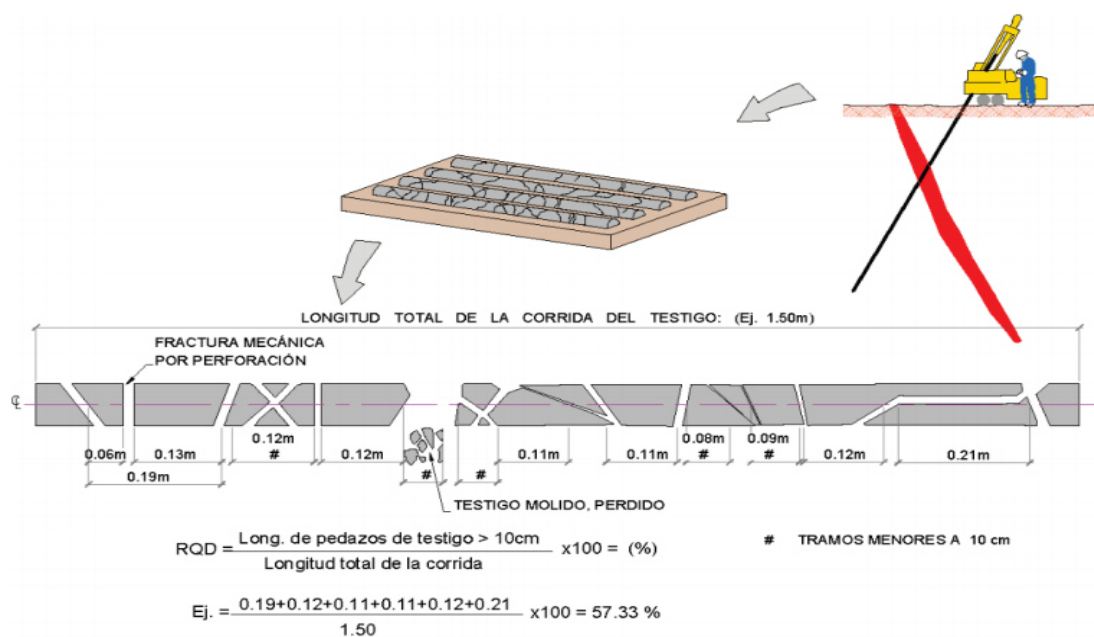
Por lo tanto, la clasificación geomecánica permite identificar los macizos rocosos a partir de ensayos y observaciones *insitu*. En la actualidad, existen muchas tales como: RMR, Q, GSI, RQD, RSR, RMi.

## 2.3 Clasificación geomecánica

### 2.3.1 Clasificación de Deere

La designación de calidad de la roca (RQD) fue establecida por D.U. Deere (1964) pero fue hasta en 1967 que fue presentado por primera vez en una publicación. El RQD es definido como la suma de las porciones (expresado en porcentaje) de los tramos de muestras DDH 0.1 m y/o mayores a ello recuperados de un taladro, como se muestra en la Figura 1 y permite valorar el grado de fracturamiento del macizo rocoso. Ver Tabla 1.

Para determinar el RQD, la International Society for Rock Mechanics o la Sociedad Internacional de mecánica de rocas (ISRM) recomendó un tamaño mínimo para núcleos de testigo de NX (tamaño de 54,7 mm) perforado con un cilindro de núcleo de doble tubo con una broca de diamante. Las fracturas artificiales se pueden identificar mediante el ajuste de los núcleos y las superficies sin teñir. Todas las fracturas artificiales deben ignorarse mientras se cuenta la longitud del núcleo para RQD. (Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Science [2018])



**Figura 1 Medición y cálculo del RQD.**

Tomado de ACG, 2003



**Tabla 1**      **Calidad de la roca en base al RQD**

RQD (%)	Calidad de la roca
< 25	Muy pobre
25 - 50	Pobre
50 - 75	Regular
75 - 90	Bueno
90 - 100	Excelente

Tomado de Deere, 1964

En ocasiones, no se cuenta con perforaciones para realizar la metodología señalada; sin embargo, se puede estimar el RQD de datos en afloramientos, en donde, es posible utilizar la relación de Palmstrom (2005), dada por la siguiente fórmula:

$$\text{RQD} = 110 - 2,5 J_v \quad (1)$$

Donde:

- $J_v$  = Número de juntas por metro cúbico
- $J_v = J_x + J_y + J_z$
- $J_x$  = Número de juntas en la dirección x
- $J_y$  = Número de juntas en la dirección y
- $J_z$  = Número de juntas en la dirección z

Para:  $J_v < 5$ ,  $\text{RQD} = 100$

Deere et al. (1970), clasificó los macizos rocosos en 6 grupos e hicieron una serie de recomendaciones para el sostenimiento de túneles. Una de las novedades introducidas es que recomendaron el uso de máquinas tuneladoras o topos (TBM) como método alternativo al tradicional (explosivos); sin embargo, el RQD forma parte de otras clasificaciones geomecánicas más elaboradas (RMR; Q, etc), ya que en sí mismo es insuficiente para describir al macizo rocoso.

### **2.3.2      Rock Mass Rating o clasificación del macizo rocoso (RMR)**

Esta metodología denominada como clasificación del macizo rocoso o más conocido como RMR, fue desarrollada por Z.T. Bieniawski en el South African

Council of Scientific and Industrial Research (CSIR, 1973) con actualizaciones en 1979, 1989 y 2014.

En primer lugar, para poder aplicar esta metodología se evalúa el macizo rocoso en su conjunto como tal, posteriormente, se lo divide en sectores que presenten características geomecánicas más o menos equivalentes, en las que se llevan a cabo la medida de datos al sector representativo elegido.

Dependiendo del estado de las características evaluadas, se conseguirá una puntuación y mediante la suma de dichas puntuaciones se obtendrán unos valores que se situarán entre 0 y 100. Asimismo, se utilizan 6 parámetros para clasificar el macizo rocoso, los cuales son los siguientes:

- Resistencia a la compresión simple de la roca intacta.
- Designación de calidad de la roca (RQD).
- Espaciamiento entre discontinuidades.
- Condición de las discontinuidades.
- Condición de agua.
- Orientación de las discontinuidades

#### **2.3.2.1 Resistencia a la compresión simple o uniaxial de la roca intacta**

La resistencia de la roca se alcanza a partir de tramos de testigos del macizo rocoso, o especímenes seleccionados en campo, tal que tengan la mayor representatividad del sector que se busque analizar. En ese sentido, para la selección de las muestras deberá seguirse procedimientos sugeridos en las normas: ASTM D-5731, para ensayos de carga puntual, y/o ASTM D2938-95, para ensayos de resistencia a la compresión uniaxial. Sin embargo, para resistencias bajas se recomienda el uso del segundo. Ver Tabla 2.

Además, durante los trabajos de campo y estimaciones rápidas, podemos considerar una resistencia aproximada en base al comportamiento de la roca ante los golpes de la picota de geólogo. Ver Tabla 2.

**Tabla 2** *Estimación en campo de la resistencia en comprensión simple o uniaxial*

Clase (a)	Clasificación de la roca	Resistencia uniaxial o simple	Índice de carga puntual	Estimación en campo de la resistencia
R6	Extremadamente resistente	> 250	> 10	Golpes de picota de geólogo solo causan descostramientos superficiales en la roca
R5	Muy resistente	100 - 250	4 - 10	Se requiere varios golpes de picota de geólogo para fracturarse
R4	Resistente	50 - 100	2 - 4	Se requiere más de un golpe de una picota de geólogo para fracturarse
R3	Moderadamente resistente	25 - 50	1 - 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un golpe de picota de geólogo
R2	Débil	5 - 25	(b)	Un golpe con la punta de la picota de geólogo deja una grieta superficial.
R1	Muy débil	1 - 5		La roca disgregada al ser golpeada con la punta de la picota de geólogo
R0	Extremadamente débil	0,25 - 1		Ahuecada con la uña del pulgar

*Notas:*

(a) Clases según Brown.

(b) Para roca con una resistencia en comprensión uniaxial menor que 25 MPa del ensayo de carga puntual son poco confiables.

Tomado de Hoek E. & Brown E.T. (1980). Underground excavations in rock, London.

### 2.3.2.2 Designación de calidad de la roca (RQD)

El parámetro RQD fue mencionado en la sección 2.3.1 Clasificación de Deere. Ver Tabla 3 líneas abajo.

### 2.3.2.3 Espaciamiento entre discontinuidades

Dentro de la extensión de los afloramientos rocosos, las “discontinuidad” abarcan lo siguiente: diaclasas, estratificación, zonas de cizalla, fallas, planos

de esquistosidad o foliación y contactos litológicos. En ese sentido, el espaciamiento es la longitud perpendicular entre discontinuidades contiguas, esta distancia debe ser medida para todas las familias de discontinuidades representativas y el parámetro debe ser estimado para la discontinuidad más crítica a la estabilidad del macizo rocoso.

Por otro lado, el espaciamiento entre de las discontinuidades determina el tamaño aproximado de los bloques de roca intacta; puesto que, mientras menor sea el espaciado, los bloques serán más reducidos, y en cuanto mayor sea el espaciado, los bloques serán más grandes. Ver Tabla 3 líneas abajo.

#### **2.3.2.4 Condición de las discontinuidades**

Este parámetro describe varios aspectos acerca de la condición de la discontinuidad, esto son: longitud de la discontinuidad, la rugosidad, continuidad, separación, material de relleno y tipo de alteración. Los detalles de cada uno de ellos se detallan en la Tabla 3 líneas abajo.

#### **2.3.2.5 Condición de agua**

La determinación de este parámetro y su valoración se basa entre 3 criterios diferentes: la medida de litros por minuto para una distancia de 10 metros dentro del túnel excavado, la relación de presión de agua en la discontinuidad entre la tensión principal máxima o el estado general, la cual es la evaluación visual del terreno. Ver Tabla 3 líneas abajo.

#### **2.3.2.6 Orientación de las familias de discontinuidades**

La orientación de las discontinuidades (“joints”, en inglés) es un parámetro referido al rumbo y buzamiento de estas, las cuales que gobiernan principalmente la estabilidad respecto a la dirección de construcción del túnel. Respecto a ello, la valoración cuantitativa de este parámetro ajusta el valor de la suma de los cinco parámetros preliminares, según el uso de la clasificación

el túneles, fundaciones o excavaciones a cielo abierto, modificando la valoración total del RMR. Ver Tabla 4 líneas abajo.

Sin embargo, para fines completos de caracterización y un lenguaje más entendible, se considera 3 variaciones en terminologías diferentes que representan distintas sumas algebraicas de los parámetros ya mencionados, esto son:

- RMR Básico: la suma de los valores de resistencia, RQD, espaciamiento, condición de las discontinuidades y condición de aguas.
- RMR Ajustado: la suma de los valores de resistencia, RQD, espaciamiento, condición de las discontinuidades, condición de aguas y orientación de discontinuidades.
- RMR89: la suma de los valores de resistencia, RQD, espaciamiento y condición de las discontinuidades más 15 unidades, es decir, a condiciones secas y muy favorables ya sea túneles, fundaciones o taludes.

**Tabla 3 Sistema de clasificación del macizo rocoso**

A. PARÁMETROS DE CLASIFICACION Y SUS VALORES									
Parámetro			Rango de Valores						
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de resistencia de carga puntual (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Para estos valores bajos, es preferible el ensayo de resistencia a la compresión uniaxial		
		Resistencia a la compresión simple o uniaxial (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
	Valor		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciamiento de discontinuidades		> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Valor		20	15	10	8	5		
4	Condición de discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Separación o Abertura	Ninguna	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Valor	6	5	3	1	0		
5	Agua subterránea	Flujo por cada 10 m del túnel (l/min)	Ninguno	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Presión de agua en la discontinuidad / Tensión principal máxima	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Estado general	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo de agua		
		Valor	15	10	7	4	0		

Tomado de Z. Bieniawski, 1989.

**Tabla 4 Orientación de las discontinuidades en el túnel**

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buz. 0° - 20°
Excavación en dirección del buzamiento		Excavación contra buzamiento				Cualquier dirección
Buzamiento 45 - 90	Buzamiento 20 - 45	Buzamiento 45 - 90	Buzamiento 20 - 45	Buzamiento 45 - 90	Buzamiento 20 - 45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Tomado de Z. Bieniawski, 1989.

**Tabla 5 Guía para la excavación y soporte de túneles de acuerdo con el RMR (Bieniawski, 1989)**

Clase de macizo rocoso	Excavación	Sostenimiento		
		Pernos (Ø 20mm)	Shotcrete	Marcos de acero
Roca muy buena, I RMR: 81 a 100	Avances cada 3 m a sección completa	En general, no es necesario sostenimiento, a excepción de algunos pernos para refuerzo local		
Roca buena, II RMR: 61 a 80	Avances de 1 a 1.5 m en sección completa. Sostenimiento total a 20 m del frente	Pernos locales en el techo, 3 m de largo y espaciado de 2.5 m con malla esporádica	50 mm en el techo donde se necesite	No
Roca regular, III RMR: 41 a 60	Media sección y ejecución de bancas, avances de 1.5 a 3.0 m en la media sección. Sostenimiento primario luego de cada voladura. Sostenimiento completo a 10 m del frente	Colocación de pernos sistemáticos de 4 m de largo, espaciados cada 1.5 a 2.0 m en el techo y paredes con malla	50 a 100 mm en el techo. 30 mm en las paredes	No
Roca mala, IV RMR: 21 a 40	Media sección y ejecución de bancas, avances de 1.0 a 1.5 m en la media sección. Instalación de refuerzos conforme se avance 10 m en el frente de excavación	Colocación de pernos sistemáticos de 4 a 5 m de largo, espaciados de 1.0 a 1.5 m en el techo y paredes con malla	100 a 150 mm en el techo. 100 mm en las paredes	Marcos ligeros a medianos separados cada 1.5 m y donde se requiera

Tomado de Z.T. Bieniawski, 1989.

### 2.3.3 Sistema de clasificación Q de Barton

El sistema Q, propuesto por Barton et al. (1974), fue desarrollado exclusivamente para el diseño de sistemas de sostenimiento de túneles; sin embargo, ha sido expandido para estimar propiedades del macizo rocoso. El sistema de Q de Barton incluye 6 parámetros dentro de una ecuación para obtener la calidad del macizo rocoso (Q), los cuales son:

- Designación de calidad de la roca (RQD).
- Índice de influencia del número de familia de discontinuidades ( $J_n$ ). Ver Tabla 6.
- Índice de influencia de la rugosidad de la discontinuidad más desfavorable ( $J_r$ ). Ver Tabla 7.
- Índice de la influencia del grado de alteración o relleno de las paredes de las discontinuidades más débiles ( $J_a$ ). Ver Tabla 8.
- Índice de influencia de la acción del agua subterránea ( $J_w$ ). Ver Tabla 9.
- Índice de influencia del estado de tensiones que afecta al macizo rocoso para el contorno de la excavación o Stress Number Factor (SRF).

El valor del índice de Q está expresado por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (2)$$

De modo que los rangos de variación de estos parámetros son:

- RQD: 0 -100
- $J_n$ : 0.5 – 20
- $J_r$ : 0.5 – 4
- $J_a$ : 0.75 – 20
- $J_w$ : 0.05 – 1
- SRF: 0.5 – 20



**Tabla 6** *Número de familia de discontinuidades (Jn)*

Descripción	Jn
Roca Masiva	0.5 - 1
01 familia de diaclasas	2
01 familia y algunas juntas ocasionales	3
02 familias	4
02 familias y algunas juntas	6
03 familias	9
03 familias y algunas juntas	12
04 o más familias, roca muy fracturada, "terrones de azúcar", etc.	15
Roca triturada terrosa	20

*Nota:* En boquillas, se utiliza 2 Jn y en intersecciones de túneles 3 Jn.  
Tomado de Barton, 1974.

**Tabla 7** *Rugosidad de la discontinuidad más desfavorable (Jr)*

Descripción	Jr
Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento cortante de menos de 10 cm	
Juntas discontinuas	4
Junta rugosa o irregular ondulada	3
Suave ondulada	2
Espejo de falla, ondulada	1.5
Rugosa o irregular, plana	1.5
Suave plana	1
Espejo de falla, plana	0.5
No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ambas se desplazan lateralmente	Jr
Zona conteniendo minerales arcillosos, tan gruesa como para impedir el contacto entre las caras de la junta	1
Arenas, gravas o zona de falla tan gruesa como para impedir el contacto entre las dos caras de la junta	1

*Nota:* Si el espaciado de la familia de juntas es mayor de 3 m hay que aumentar el Jr en una unidad. Para discontinuidades planas con espejo de falla dotadas de lineaciones, si están orientadas en la dirección de mínima resistencia, se puede usar un Jr de 0.5.

Tomado de Barton, 1974.

**Tabla 8      *Grado de alteración o relleno de las paredes de las discontinuidades más débiles (Ja)***

Descripción	Ja	$\phi^{\circ}r$
*Contacto entre las dos caras de la discontinuidad		
Junta sellada duramente, sin reblandecimiento, impermeable. Por ejemplo: paredes sanas o con cuarzo.	0.75	
Caras de la discontinuidad únicamente manchadas.	1	25 - 30
Las caras de la discontinuidad están alteradas ligeramente y contienen minerales no reblandecibles, partículas de arena, roca desintegrada sin arcilla, etc.	2	25 - 30
Recubrimiento de finos, tales como limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no reblandecible.	3	20 - 25
Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, por ejemplo, mica, caolinita, talco, clorita, grafito, yeso, etc y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 ó 2 mm.	4	08-16
*Contacto entre las dos caras de la discontinuidad con menos de 10 cm de desplazamiento.	Ja	$\phi^{\circ}r$
Partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	4	25 - 30
Rellenos de minerales arcillosos reblandecidos, fuertemente sobreconsolidados. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de espesor.	6	16 - 24
Sobreconsolidación media o baja, reblandecimiento; rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de espesor.	8	12-16
Rellenos de arcillas expansivas, por ejemplo, montmorillonita, de espesor continuo de 5 mm. El valor Ja depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8-12	6-12
*No existe contacto entre las dos caras de la discontinuidad a pesar de que ha sufrido un desplazamiento cortante.	Ja	$\phi^{\circ}r$
Zonas o bandas de roca desintegrada y arcilla.	6-8 u 8-12	6-24
Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla, sin reblandecimiento.	5	6-24
Milonitas arcillosas gruesas.	10-13 o 13- 20	6-24

Tomado de Barton, 1974.

**Tabla 9      Acción del agua subterránea ( $J_w$ )**

Descripción	$J_w$	Presión agua kg/cm <sup>2</sup>
Excavaciones secas o de flujo mínimo, por ejemplo, menos de 5 l/min localmente.	1	<1
Flujo o presión medias, ocasional lavado de los rellenos de las juntas.	0.66	1 - 2.5
Flujo grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las juntas	0.33*	2.5 - 10
Flujo o presión de agua excepcionalmente alta, disminuyendo con el tiempo.	0.1 - 0.2*	>10
Flujo o presión de agua excepcionalmente alta y continua, sin disminución a través del tiempo.	0.05 - 0.1*	>10

*Nota:* Los valores presentados con el signo \* son sólo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar  $J_w$ . Además, los problemas causados por la formación de hielo no se consideran.

Tomado de Barton, 1974.

Tal como se muestra en la ecuación y tablas anteriores, se obtiene que el primer cociente ( $RQD/J_n$ ) representa la condición general del macizo rocoso, el segundo cociente ( $J_r/J_a$ ) representa las características friccionantes y de rugosidad de las paredes de las discontinuidades o material de relleno, y el tercer cociente ( $J_w/SRF$ ) representa el factor empírico de la actividad tensional.

Una vez valorizados los parámetros de entrada, el sistema Q clasifica los macizos rocosos en nueve tipos, los cuales se observan en la Tabla 10.

**Tabla 10      Clasificación de Barton et al. (1974) para macizos rocosos**

Tipo de Macizo Rcoso	Valor de Q
Excepcionalmente malo	$10^{-3} - 10^{-2}$
Extremadamente malo	$10^{-2} - 10^{-1}$
Muy malo	$10^{-1} - 1$
Malo	1 - 4
Medio	4 - 10
Bueno	10 - 40
Muy bueno	40 - 100
Extremadamente bueno	100 - 400
Excepcionalmente bueno	400 - 1000

Tomado de Barton, 1974.

Se recomendó un parámetro denominado dimensión equivalente (De), el cual se encuentra en función al valor de Q y los requerimientos de soporte para excavaciones subterráneas, se obtiene de la siguiente expresión:

$$De = \frac{\text{Luz diámetro o altura de la excavación (m)}}{\text{Relación de soporte de excavación, ESR}} \quad (3)$$

#### **2.3.4 Geological strength index (GSI)**

El *Índice de resistencia geológica* fue desarrollado por Hoek et al. en el año 1995, con actualizaciones en el 2000 y 2002, con la finalidad de obtener parámetros de entrada para el criterio de falla de Hoek & Brown.

Esta metodología otorga un valor índice, que varía de 0 a 100, obtenido de forma visual y simplificada a partir de dos parámetros: estructura del macizo rocoso y el estado de las condiciones superficiales.

La primera, se encuentra asociada al grado de fracturamiento, en las cuales se definen cinco categorías que dependen de cuán disturbadas o agrietadas se presenten los bloques de roca. La segunda, se encuentra en función a la resistencia de la roca sana y a las características de las discontinuidades, en las cuales se definen cinco categorías en relación con la calidad de la superficie en evaluación.

En la Figura 2 se representa las consideraciones para la evaluación del GSI propuesta por Hoek y Marinos en el año 2000.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)	SURFACE CONDITIONS	VERY GOOD Very rough	GOOD Rough	FAIR Smooth	POOR Slickensided	VERY POOR Slickensided, with soft clay
		DECREASING SURFACE QUALITY				
STRUCTURE						
INTACT OR MASSIVE	DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓	90	80	70	60	50
BLOCKY well interlocked undisturbed rock mass						
VERY BLOCKY interlocked, angular blocks formed by 4 or more joint sets						
BLOCKY / DISTURBED / SEAMY angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets						
DISINTEGRATED heavily broken rock mass						
LAMINATED / SHEARED close spacing of weak schistosity or shear planes						

**Figura 2** Índice GSI (índice de resistencia geológica)

*Nota:* Tomado de Hoek, Marinos, 2000.

## 2.4 Criterios de Rotura para Macizos Rocosos

### 2.4.1 Criterio de Rotura Generalizado de Hoek & Brown (2002)

El criterio de falla de Hoek-Brown se desarrolló en un inicio con la finalidad obtener un mayor entendimiento del comportamiento del macizo rocoso en excavaciones subterráneas para materiales competentes o rocas de buena calidad; sin embargo, con el paso de los años, el uso indiscriminado de este criterio para macizos de muy mala calidad se incrementó. En ese sentido, Hoek-Brown (2002) realizaron cambios significativos en un intento de introducir un rango más amplio de calidades de roca a partir de propiedades de la roca intacta, en la cual se introducían factores que redujeran estas propiedades con ayuda de criterios empíricos del método observacional.

El criterio de rotura generalizado de Hoek-Brown para macizos rocosos fracturados viene dado por la siguiente expresión:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left( m_b \times \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (4)$$

Donde:

- $\sigma_1'$  y  $\sigma_3'$  = Esfuerzos efectivos principales mayor y menor respectivamente en el momento de la rotura.
- $\sigma_{ci}$  = Resistencia a la compresión simple o uniaxial de la roca intacta o matriz rocosa.
- $m_b$  = Parámetro relacionado con la naturaleza friccionante del macizo rocoso.
- $s, a$  = Constantes dependientes de la naturaleza del macizo rocoso.




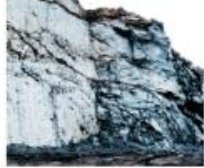

En la cual, los parámetros  $s$ ,  $a$  y  $m_b$  del macizo rocoso han sido definidos a través de las siguientes fórmulas:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right), \quad s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right), \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}(\exp^{-GSI/15} - \exp^{-20/3}) \quad (5)$$

Donde:

- $m_i$  = Es un parámetro que depende de la litología. En el cual, Hoek et. al (1998), propone unos valores en base a su data recolectada a través de los años.
- GSI = Índice de resistencia geológica.
- D = Factor de Perturbación.

El factor de perturbación o disturbancia, D, es un valor adimensional que varía de 0 a 1 dependiendo de los daños y efectos causados por voladura, en donde 0 representa macizos rocosos que no serán alterados, y 1 para aquellos con propiedades alteradas. La variación del factor D se resume en la Figura 3.

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor D sugerido
	Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel.	$D = 0$
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante.  Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.	$D = 0$  $D = 0.5$ No invert
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.	$D = 0.8$
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.	$D = 0.7$ Good blasting  $D = 1.0$ Poor blasting
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento.  En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	$D = 1.0$ Production blasting  $D = 0.7$ Mechanical excavation

**Figura 3** Guía para la evaluación del factor D

Tomado de Hoek et al., 2002.

Así mismo, la resistencia a la compresión simple o uniaxial se obtiene estableciendo  $\sigma_3' = 0$ , formulándose de la siguiente manera:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \times s^a \quad (6)$$

La constante  $m_i$  es definida mediante ensayos de compresión triaxial o mediante valores referenciales por litología, publicados por Hoek y Brown (1997) y Hoek, Marinos y Benissi (1998), Hoek y Marinos (2000), y Marinos y Hoek (2000), como se muestra la Tabla 11.

**Tabla 11**      **Valores de la constante  $m_i$  para la matriz rocosa**

Tipo de roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy fina
Sedimentario	Clástico		Conglomerados* (21±3) Brecha (19±5)	Arenisca (17±4)	Limolita (7±2) Grauvaca (18±3)	Arcillolita (4±2) Marga (7±2)
	No-clástico	Carbonatos	Caliza cristalizada (12±3)	Caliza esparítica (10±2)	Caliza micrítica (9±2)	Dolomitas (9±3)
		Evaporitas		Yeso (8±2)	Anhidrita (12±2)	
		Orgánicos				Chalk (7±2)
Metamórfico	No foliado		Mármol (9±3)	Hornfels (19±4) Metaarenisca (19±3)	Cuarcita (20±3)	
	Ligeramente foliado		Migmatita (29±3)	Anfibolita (26±6)		
	Foliado **		Gneis (28±5)	Esquisto (12±3)	Filita (7±3)	Pizarra (7±4)
Ígnea	Plutónico	Claro	Granito (32±3) Granodiorita (29±3)	Diorita (25±5)		
		Oscuro	Gabro (27±3)	Dolerita (16±5)		
	Hipoabisal		Porfíritica (20±5)		Diabasa (15±5)	Peridotita (25±5)
	Volcánico	Lava		Riolita (25±5) Andesita (25±5)	Dacita (25±3) Basalto (25±5)	Obsidiana (19±3)
		Piroclástico	Aglomerado (19±3)	Brecha (19±5)	Tufa (13±5)	

**Notas:**

(\*) Los conglomerados y brechas presentan un alto rango de valores de  $m_i$  los cuales dependen de la naturaleza del material de cementación y grado de cementación.

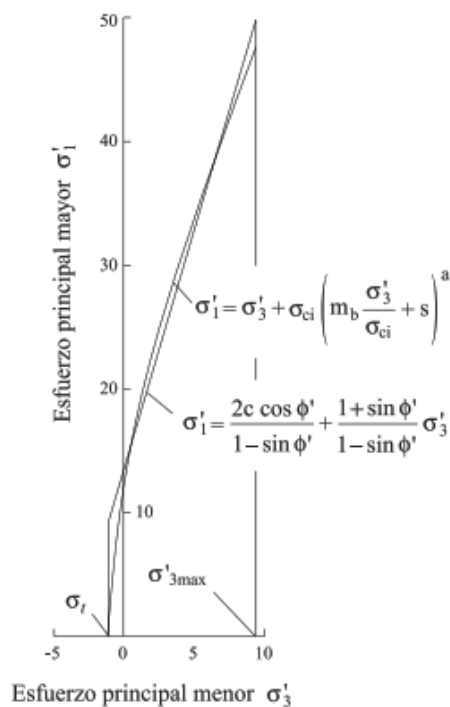
(\*\*) Valores obtenidos de ensayos en matriz rocosa con dirección de aplicación de la carga normal a los planos de foliación. El valor de  $m_i$ , será



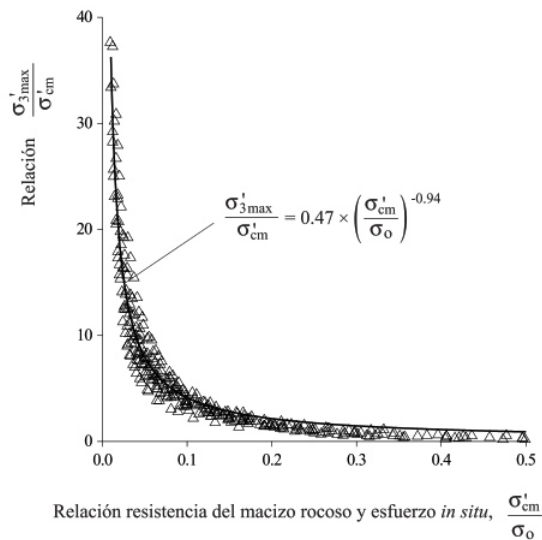
significativamente diferente si la rotura ocurre a favor de los planos de debilidad.

Tomado de Hoek E. & Brown E.T. (1980). Underground excavations in rock, Instn. Min. Metall, London.

“El criterio de rotura de Hoek-Brown sólo se puede aplicar al material rocoso intacto o a los macizos rocosos fracturados que puedan ser considerados homogéneos e isotropos” (P. Ramírez & L. Alejandro, 2004), es decir, este criterio no debe aplicarse para macizos rocosos que presenten un comportamiento predominante por una o unas discontinuidades sobre las demás. En la Figura 4 y Figura 5 se muestra la relación entre los criterios de Mohr-Coulomb y el criterio generalizado de Hoek-Brown aplicable a túneles.



**Figura 4 Relación entre esfuerzos principales mayores y menores para el criterio generalizado de Hoek-Brown y correlación con el criterio de Mohr-Coulomb**



**Figura 5 Relación para el cálculo de  $\sigma'_{3max}$  como input para los criterios de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb en el caso de los túneles**

## 2.5 Glosario

**AFLORAMIENTO:** Formación rocosa aislada la cual destaca por sus cualidades paisajísticas. Generalmente, son el resultado de la meteorización e intemperismo que han existido en el lugar.

**ALTERACIÓN:** Procesos que sufren las rocas cuando se encuentran en condiciones superficiales y en contacto directo con la atmósfera, la hidrósfera y la biósfera.

**ÁNGULO DE FRICCIÓN:** Es una variable, expresada en grados, dentro de la ecuación dada por el modelo de Mohr-Coulomb, la cual se emplea para determinar la resistencia al corte de los materiales.

**BUZAMIENTO:** Es el ángulo de inclinación o línea de máxima pendiente comprendida entre el plano de la roca o estructura y un plano horizontal, la cual varía entre 0° y 90°.

**COBERTURA DE SUELO:** Material físico sobre la superficie terrestre perteneciente a los depósitos cuaternarios dentro del tiempo geológico. Las coberturas del suelo incluyen materiales como hierba, asfalto, árboles, suelo, agua, etc.

**COHESIÓN:** Es una variable, expresada generalmente en kilopascales, dentro de la ecuación dada por el modelo de Mohr-Coulomb, la cual se emplea para determinar la resistencia al corte de los materiales.

**CONTACTO:** (Litológico) Línea referencial que separa dos tipos de roca diferentes, separándolas en unidades litológicas.

**CUARCITA:** Denominada también metacuarcita, es una roca metamórfica dura con alto contenido de cuarzo, generalmente entre el 90% y 99%. El término cuarcita a menudo es usado erróneamente para designar a la cuarzoarenita u ortocuarcita, roca sedimentaria cementada con sílice que ha precipitado de aguas intersticiales durante su diagénesis.

**DEPÓSITO CUATERNARIO:** Diversos tipos de suelos constituidos por una serie de depósitos de origen eólico, volcánico subaéreo, deluvial, coluvial o aluvial.

**DISCONTINUIDAD:** Las discontinuidades geológicas aquellos planos de separación dentro del macizo rocoso, los cuales confieren un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo.

**DIORITA:** Es una roca plutónica compuesta por dos tercios de feldespatos del grupo de las plagioclasas y un tercio de los minerales oscuros o ferromagnesianos, generalmente hornblenda, aunque pueden contener biotita y piroxenos.

**ESQUISTO:** Es una roca metamórfica del grupo de los silicatos, caracterizada por el conjunto de minerales planos, alargados y alineados. Compuesta especialmente por grafito, mica, talco, clorita y hornblenda, continuados de cuarzo y minerales tecto y aluminosilicatos. Los esquistos se originan en el interior de la corteza terrestre, producto de procesos metamórficos sufridos a medianas o altas temperaturas y presiones.

**ESTEREOGRAMA:** Es una representación gráfica de objetos tridimensionales sobre un medio plano, por medio de sus proyecciones, valiéndose de la estereoscopia, de forma que aparentan tener volumen.

**ESTRATO:** Son aquellas capas en las que pueden fraccionarse los macizos rocosos debido al proceso de sedimentación. Los estratos aparecen como capas horizontales a subhorizontales de espesor regularmente uniforme, con interfases nítidas en comparación con el estrato más joven que se sitúa encima y con el más antiguo, el cual, generalmente, se encuentra por debajo.

**FALLA:** Una falla geológica es una fractura en la corteza terrestre a lo largo de la cual se mueven los bloques rocosos que son separados por ella.

**FRACTURA:** Denominada también “diaclasa” o “junta” que aparece en el cuerpo de una roca ocasionalmente producida por esfuerzos, presentando direcciones de esfuerzos que se originaron en la corteza terrestre interna a lo largo del tiempo geológico.

**GEOMECAÁNICA:** Es la disciplina que aplica la mecánica clásica o leyes constitutivas para caracterizar el comportamiento de los materiales geológicos bajo diferentes condiciones de esfuerzos. Involucra un amplio rango de escalas geométricas que van desde la interacción entre los granos de las rocas hasta la importancia de la tectónica global y la interacción de las placas continentales.

**GEOTECNIA:** Es la disciplina de la ingeniería geológica e ingeniería civil, que se ocupa de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de materiales naturales – tales como suelos y rocas - que participan en el diseño, construcción y operación de proyectos de ingeniería civil, como carreteras (vías, puentes, túneles, etc), líneas de transmisión, componentes mineras (presas, depósitos de material inerte, tajos abiertos, etc), oleoductos, unidades de vivienda, entre otros.

**GRANODIORITA:** Es una roca ígnea de tipo intrusiva, que se forma debido a una gran intrusión de material ígneo fundido dentro de la corteza. Posee los mismos componentes del granito (cuarzo y feldespato) con la diferencia de que contiene el doble de plagioclasa comparado a la ortoclasa (ambos minerales son tipos de feldespato), además de minerales secundarios en pequeña cantidad como biotita, hornblenda, etc.

**HORNFELS:** También llamada corneana, es una roca metamórfica de textura fina formada por el metamorfismo de contacto. El metamorfismo de contacto ocurre cuando una masa de magma caliente penetra en una roca preexistente, ya sea inyectándose en una grieta o ascendiendo como un cuerpo grande. La roca en las proximidades del magma se suaviza temporalmente o se derrite y se recrystaliza con una textura alterada, produciendo un hornfels.

**LITOLOGÍA:** La litología es una rama y tecnicismo de la geología que estudia a las rocas propiamente dicho, especialmente su tamaño de grano, el tamaño de las partículas y las propiedades fisicoquímicas que las componen; incluye también su composición, textura, tipo de transporte, así como su composición mineralógica, distribución espacial y material cementante, con la finalidad de agruparlos por tipos de rocas de acuerdo con características similares.

**MACIZO ROCOSO:** Es el medio *insitu* que contiene características determinadas y diferentes tipos de discontinuidades, así como otros rasgos estructurales particulares.

**METAMORFISMO:** Proceso geológico mediante el cual las rocas sufren una serie de cambios en su composición mineralógica y/o textura, convirtiéndose en rocas metamórficas mediante factores de presión y de temperatura, la circulación de fluidos químicamente activos, los esfuerzos y la composición inicial de la roca.

**METEORIZACIÓN:** Se denomina meteorización a la descomposición de rocas y minerales que ocurre en la superficie terrestre cuando estos materiales entran en contacto con la atmósfera, hidrósfera y la biósfera.

**MODELO GEOLÓGICO:** Representa la distribución de los materiales, estructuras geológicas, datos geomorfológicos e hidrogeológicos, entre otros, presentes en el área de estudio y su entorno de influencia.

**MÓDULO ELÁSTICO:** Se denomina módulo de elasticidad o módulo de Young a la razón entre el incremento de esfuerzo aplicado a un material y el cambio correspondiente a la deformación unitaria a la cual es sometido, en la dirección de aplicación del esfuerzo, también denominada "Ley de elasticidad de Hooke".

**ORIENTACIÓN:** Distribución espacial de una discontinuidad que está definida por su dirección de buzamiento y por su buzamiento.

**PLIEGUE:** Un pliegue puede definirse como la curvatura que se forma en un terreno como resultado de esfuerzos compresivos o distensivos, que surgen como consecuencia de la presión tectónica en rocas plásticas que, en lugar de fracturarse, se pliegan.

**TALUD:** Superficie inclinada del terreno que se extiende de la base a la cumbre de un cerro, generalmente acumulada superficialmente por depósitos cuaternarios.

**TESTIGO DE ROCA:** Es una muestra de roca, generalmente cilíndrica, que se obtiene de la perforación a diferentes profundidades, las cuales son seleccionadas por el ingeniero supervisor de campo.

**TONALITA:** Es una roca plutónica que se caracteriza por la abundancia de cuarzo y plagioclasa como minerales félsicos, biotita y anfíbol (minerales máficos); sin embargo, en este caso el porcentaje de feldespato potásico es mucho menor que el de plagioclasa.

**TOPOGRAFÍA:** La palabra topografía tiene como raíces topos, que significa "lugar", y grafos que significa "descripción". Topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objetivo la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales.

## **2.6 Hipótesis**

### **2.6.1 General**

El presente estudio geotécnico determina las propiedades geomecánicas del macizo rocoso y sus parámetros a lo largo del eje del túnel 2, el cual puede servir de apoyo para su construcción.

### **2.6.2 Específicas**

- La investigación geotécnica en campo, la toma de muestras para ensayos de laboratorio brindará soporte técnico para la toma de decisiones durante la construcción del túnel 2.
- El estudio geotécnico del túnel 2 de la vía evitamiento será necesario para su construcción.

### **2.6.3 Identificación de variables**

- Independiente:  
Estudio del macizo rocoso donde se llevará cabo la construcción del túnel 2.
- Dependientes:  
La vía evitamiento de la ciudad de Huánuco.

### **3. GENERALIDADES**

#### **3.1 Metodología**

Con la finalidad de cumplir con los objetivos y demostrar las hipótesis, se llevó a cabo la siguiente metodología:

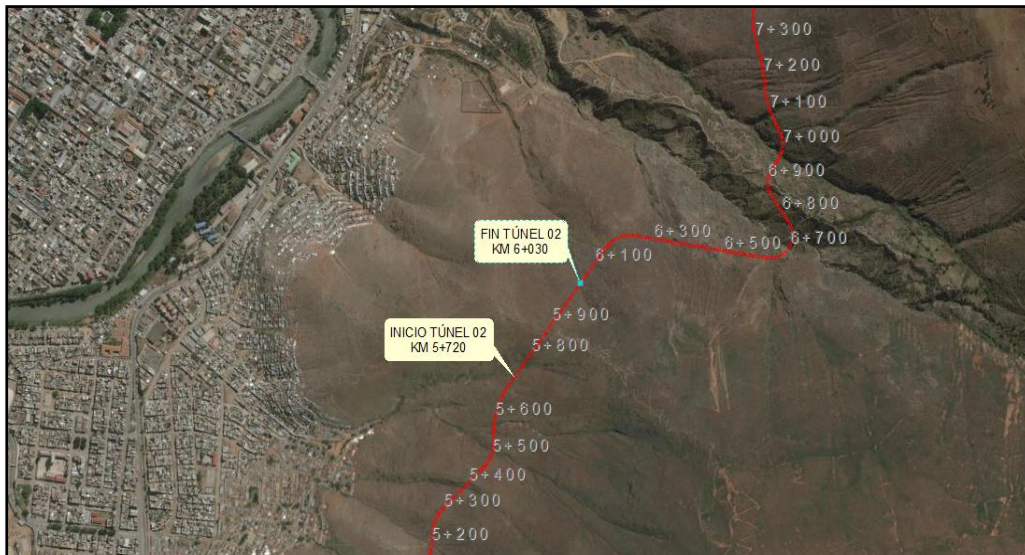
- Determinación espacio del área de estudio: ubicación, clima, vegetación, hidrografía y accesibilidad.
- Recopilación de información de estudios geotécnicos anteriores hechos en la zona de estudio.
- Topografía de detalle (1/500).
- Cartografiado geológico regional y local
- Trabajos de campo: toma de muestras del macizo rocoso, calicatas y de los testigos obtenidos por perforaciones diamantinas; además, estudios de polarización inducida.
- Ensayos de laboratorio tales como: granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, propiedades físicas, ensayo de carga puntual, ensayos de compresión uniaxial, ensayo de corte directo y ensayos de compresión triaxial.
- Análisis de los resultados de las pruebas dados por el laboratorio y campo.
- Desarrollo del modelo geotécnico del área en la que se ejecutará el túnel 2.

#### **3.2 Rasgos del área de estudio**

##### **3.2.1 Ubicación**

La zona del estudio del túnel 2, está ubicado en la margen derecha del río Huallaga, en la ladera media de una montaña, situada aproximadamente entre el km 5+720 y el km 6+030, el cual forma parte del tramo II carretera central comprendido entre el km 182+300 de la ruta PE-3N (puente San Rafael) y el km 14+000 de la ruta PE-18A (pasando la ciudad de Huánuco). Este sector se

encuentra situado en la parte central del Perú (región de Ambo y Huánuco), tal como se muestra en la Figura 6.



**Figura 6 Trazo del túnel 2. Imagen satelital, Google Earth.**

### **3.2.2 Clima**

El clima de la ciudad de Huánuco suele ser templado moderado a lluvioso, llamado por los pobladores como “la ciudad de la eterna Primavera”. Este es un clima con una temperatura promedio de 24° C, llegando a ser tan agradable que el sol brilla todo el año, en un cielo limpio y celeste.

En el invierno, es decir, entre los meses de julio y agosto, la temperatura llega a 21°C en el día y 17°C en las noches. Sin embargo, durante la primavera, entre los meses de noviembre y diciembre, la temperatura llega hasta 30°C aproximadamente en el día.

### **3.2.3 Vegetación**

La flora de Huánuco es muy variada debido a la diversidad de ecosistemas que posee; sin embargo, la flora que destaca en el área de influencia del túnel 2 de



la vía de Evitamiento es la presencia de ichu (*Stipa festuca*), chiligua (*calamagrostis*), musgos y líquenes.

#### **3.2.4 Hidrografía**

El drenaje principal del área de estudio está influenciado por la presencia del río Huallaga, el cual nace en las alturas de la región de Cerro de Pasco, por la confluencia de los ríos Chaupihuaranga y del río Huariaca, para desembocar finalmente en el río Marañón.

El río Huallaga recorre el extremo SO del cuadrángulo de Huánuco con una orientación de N-S, para luego a la altura de la ciudad de Huánuco cambiar su rumbo tornándose al NE. A lo largo de su recorrido, el río Huallaga con su gran caudal, discurre por un amplio valle de pendiente suave en su tramo inicial, conformando desarrolladas terrazas que se sitúan en ambos lados, las cuales son apreciables desde el área de estudio. No obstante, el río Huallaga no influye directamente al área cercana del túnel 2.

#### **3.2.5 Accesibilidad**

La accesibilidad al área de estudio, túnel 2 de la vía de Evitamiento perteneciente al Tramo II, comienza saliendo de la ciudad de Lima, siguiendo por la carretera central, cruzando las ciudades de Matucana, San Mateo, Casapalca, La Oroya, Carhumayo, desvío a Cerro de Pasco y San Rafael (ruta PE-3N), donde empieza el tramo y continúa pasando por la ciudad de Huánuco hasta el km 14+000 de la ruta PE 18A.

## **4. EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL TÚNEL 2**

### **4.1 Geología regional**

Respecto a la geología regional para el túnel 2 de la vía de Evitamiento (ver plano 18-GT-SM-T2-01) fue recopilada en base a la información obtenida por INGEMMET en el boletín N° 75 de la carta geológica nacional y plano geológico 1:100 000 del cuadrángulo de Huánuco (20-k), realizado por Luis Quispesivana Q. en el año 1996. En base a la información de INGEMMET, se evaluó y amplió el plano de geología regional a escala 1:20 000, a lo largo del trazo proyectado para el túnel 2.

#### **4.1.1 Geomorfología**

En cuanto a las unidades geomorfológicas que se presentan en el área de estudio, se observa que son el resultado de los diversos fenómenos degradantes a causa de procesos erosivos que afectan al relieve topográfico, las cuales modelan la superficie actual, tales como el viento, agua o hielo y los cambios climáticos, siendo el río Huallaga el principal agente erosivo, el mismo que es apreciado como el colector principal de la región que fluye de suroeste a noreste. El eje del túnel propuesto en la vía de Evitamiento se ubica por la margen derecha del valle del Huallaga, el cual es de fondo amplio, limitado por laderas de moderada a muy fuerte pendiente. Las principales unidades geomorfológicas que se observaron son:

##### **4.1.1.1 Altas cumbres**

Esta unidad abarca el mayor porcentaje del área de estudio y está constituida por una cadena de montañas alineadas dispersamente, las cuales alcanzan alturas de entre 2400 y 3800 m s. n. m. Esta diferencia remarca un relieve abrupto variable, el cual consiste litológicamente de esquisto y gneis, propias del neoproterozoico.

La erosión es moderada debido a la naturaleza local de los esquistos y gneiss, siendo generalmente afectadas por las aguas de origen pluviales, las cuales originan: valles estrechos, quebradas profundas, etc. y afectan el eje del túnel y el valle amplio del río Huallaga.

#### **4.1.1.2 Valle de fondo amplio del río Huallaga**

Se encuentra ubicada en la ciudad de Huánuco, comprendiendo el río Huallaga. Morfológicamente presenta un fondo de valle con diferentes niveles de terrazas, donde se desarrolla la ciudad de Huánuco.

Estas terrazas aluviales están delimitadas a ambos márgenes por pendientes moderadas, las mismas que son disectadas por numerosas quebradas que vierten sus aguas al río Huallaga desde las partes más altas. El protolito de estos suelos corresponden a rocas metamórficas y parte del intrusivo del cretáceo-paleoceno. Sin embargo, esta morfología se ubica aproximadamente 300 metros por debajo de la proyección del túnel 2.

#### **4.1.2 Estratigrafía**

##### **4.1.2.1 Neo–proterozoico – Complejo Maraón roca esquistoso (Pecme)**

Esta unidad litoestratigráfica tiene la mayor antigüedad de toda la zona, se extiende a lo largo de casi todo el cuadrángulo de Huánuco, específicamente en ambos márgenes del río Huallaga. Este complejo fue evaluado e identificado como una secuencia metamórfica que consiste en esquistos, gneis y cuarcitas puntuales con diferentes grados de metamorfismo que varían a escala local; así mismo, se presentan muy foliadas y en partes replegadas, propio del metamorfismo regional que lo envuelve.

#### **4.1.2.2 Cretáceo paleoceno – rocas intrusivas tonalita y granodiorita (Kp-to-pd)**

Este afloramiento se manifiesta al lado oeste y suroeste del área de estudio, formando parte del batolito de Higueras. La composición mineralógica de estos cuerpos plutónicos consta de:

- Diorita, corresponde a la primera impulsión magmática en el batolito de Higueras, tiene las siguientes características: textura granular, sus minerales principales son: plagioclasas (70%) y anfíboles (20%). La roca se encuentra ligeramente meteorizada, rugosa, estructura compacta, grano intermedio a grueso y de color gris medio a oscuro. Se encuentra cerca al área de estudio que comprende al túnel 2 de la vía de Evitamiento.
- Tonalita, pertenece a la segunda impulsión magmática del batolito de Higueras, posee las siguientes características: textura granular hipidiomórfica, en donde sus minerales esenciales son: plagioclasas (43%), hornblenda y cuarzo (30%). La roca se encuentra moderadamente meteorizada, rugosa, estructura compacta, grano medio y de color blanquecino. Se encuentra alejada del área de estudio que comprende al túnel 2 de la vía de Evitamiento.
- Granodiorita, pertenece a la tercera impulsión magmática del batolito de Higueras, posee las siguientes características: Textura granular hipidiomórfica, sus minerales esenciales son: plagioclasas (44%), cuarzo (30%), y feldespato potásico (15%). La roca se encuentra ligeramente meteorizada, rugosa, estructura compacta, grano medio y principalmente de color gris. Se encuentra alejada del área de estudio que comprende el túnel 2 de la vía de Evitamiento.

A continuación, se presenta la columna estratigráfica regional del área de estudio en la Figura 7.

LEYENDA					
ERA	SIST.	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		ROCAS INTRUSIVAS
			SECTOR OCCIDENTAL	SECTOR ORIENTAL	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITO RECIENTE ALUVIAL <b>Qr-al</b>		TONALITA GRANODIORITA <b>Kp-to-gd</b>
			NEOPROTEROZOICO C. MARAÑÓN/ESQUISTO <b>Pe-cme</b>		

**Figura 7 Columna estratigráfica regional del túnel 2.**

*Nota:* Tomado de INGEMMET (1996)

### 4.1.3 Geología estructural

La configuración morfotectónica actual de la franja de estudio, es el resultado de los diferentes eventos tectónicos ocurridos en el pasado, esto se debe principalmente a la tectónica del Neo proterozoico, de alta intensidad, con ocurrencia de diferentes periodos de deformación de las masas rocosas en la región, las cuales están constituidas por series metamórficas, litológicamente representadas por facies de esquistos verdes y gneises.

#### 4.1.3.1 Tectónica y metamorfismo

Las deformaciones ocurridas en el neoproterozoico se desarrollan en varias fases desconocidas aún. Estas diferentes fases tectónicas habrían deformado las rocas pelíticas primarias, originando variados grados de foliación de esquistos.

La fase inicial es simultánea con el metamorfismo regional y afecta a la serie arenopelítica inferior, en la cual se forman pliegues isoclinales, marcados por una esquistosidad de flujo. La segunda fase pliega la esquistosidad primaria de la fase anterior, ocasionando esquistosidad de fractura, con orientación norte – sur. La tercera fase forma estructuras postesquistosas de pliegues

chevron, sin esquistosidad y la cuarta fase está afectada por pliegues métricos a hectométricos, inclinados al este y dirección axial 130°E.

#### **4.1.3.2 Magmatismo indiferenciado**

En el área de estudio se han identificado rocas intrusivas emplazadas en la cordillera oriental, las cuales no han sido datadas y no permiten identificarse con alguna orogenia en específico; sin embargo, la falta de deformaciones presumiría que son posiblemente tardihercinianos o andinos. Los cuerpos están constituidos por granitos y granodioritas-tonalitas, los cuales intruyen a rocas esquistosas y unidades paleozoicas. Estas rocas se ubican al este de Huánuco y otros afloramientos en las partes altas, desde Huánuco hasta Ambo.

### **4.2 Geología local del túnel 2**

#### **4.2.1 Morfología**

La zona que involucra el eje del túnel 2, están localizados en la ladera media de una montaña; en la cual el relieve topográfico del terreno es ligeramente accidentado, con pendiente que varía de accidentada a muy agreste, variando en laderas pronunciadas (40° - 60°), a muy pronunciadas o agrestes (60° - 80°), las cuales se encuentran estabilizadas con vegetación arbustiva. Asimismo, ambos portales se sitúan cerca del cauce de pequeñas quebradas que se activan en temporadas de lluvias anómalas.

#### **4.2.2 Litoestratigrafía**

El túnel 2 proyectado y sus portales, se encuentran atravesando roca metamórfica del complejo del Marañón, el cual se conforma de: esquistos micáceos, esquistos areniscosos y gneis; con diferentes características geomecánicas.

Desde el punto de vista geomecánico, en los inicios de ambas perforaciones diamantinas hasta los 15 m, se atravesó esquisto micáceo fracturado de calidad tipo IV; además, cerca del comienzo de los portales del túnel; el esquisto se encuentra moderadamente meteorizado, ligeramente oxidado, rugoso, diaclasado, moderadamente fracturado con relleno de cuarzo, de poca persistencia y con moderada resistencia a la acción de agentes naturales (agua, hielo, viento, cambios de temperatura, etc.).

Continuando la perforación desde el portal de salida, se cruzó esquisto micáceo foliado, con algunas intercalaciones de esquistos areniscosos y gneis; teniendo calidad de roca mayormente tipo III, con algunos sectores aislados con mayor fracturamiento entre 2 a 3 metros de tipo IV. A 10 m, antes del final del hueco se atravesó gneis de alta resistencia, con bastantes venas y vetillas de cuarzo, habiéndose caracterizado geomecánicamente como roca de tipo III.

Por otro lado, avanzando con la perforación desde el portal de entrada, se atravesó esquisto micáceo con variado grado de foliación y discontinuidades de calidad de roca tipo IV. En partes con intercalaciones de esquistos areniscosos con moderado fracturamiento de tipo III, con algunos tramos intercalados entre 2 a 5 metros se tiene esquistos micáceos más fracturados de tipo IV. Entre los metros de la perforación diamantina, que van desde 86.00 a 94.30 m, el esquisto micáceo esta con muchas discontinuidades y triturados caracterizándose como de tipo IV; al final desde 94.30 al 120.10 m (fin de la perforación), las muestras recuperadas se estiman están muy trituradas y disturbadas a modo de suelo de limo con arena y arcilla recuperándose algunos fragmentos de roca aislados; considerándolo como zona con roca tipo V. El comportamiento de la roca a suelo ha podido deberse a alteración hidrotermal a causa de encontrarse en profundidad el contacto con parte del intrusivo de diorita.

Estas rocas metamórficas tienen de grano fino a medio, están foliadas a muy foliadas (esquisto micáceo), en el sector de los micropliegues y bandeamiento (esquistos areniscosos y gneis). Presentan desde moderada a fuerte resistencia a la acción de agentes naturales, diaclasamiento con más de tres sistemas de discontinuidades, moderadamente fracturado con relleno de cuarzo, de color gris claro a gris oscuro. Las características generales de las diferentes rocas metamórficas en superficie y perforadas son las siguientes:

- Esquisto micáceo: es de grano fino, alto porcentaje de micas, de poco a muy foliado con espesores de pocos milímetros, replegados en diferentes direcciones y buzamientos, con moderado a fuerte fracturamiento, con presencia de pequeñas a moderadas vetillas, vetas y bandeamiento de cuarzo, en sus planos de contacto presenta oxidaciones de fierro. Estas rocas en sectores presentan fuerte fracturamiento, con persistencia mayor de 1 m de longitud.
- Esquisto arenicoso: presenta granulometría de fina a media, con menor porcentaje de micas, en estratos de hasta un metro de espesor y persistencia superior a 5 m, tiene menor fracturamiento, inclusive en algunos sectores se intercala con esquistos micáceos de poco espesor, tiene alta resistencia como roca intacta, la foliación es de mayor espesor e interfoliación con venillas y bandeamiento de cuarzo.
- Gneis: es la roca metamórfica más antigua y de mayor resistencia en la zona, se han determinado en algunos metros antes del final de las perforaciones.

#### **4.2.3 Geología estructural**

Sobre la base del cartografiado geológico a detalle, el resultado indica que el área del proyecto para el túnel 2 consta de rocas metamórficas afectadas en diferente magnitud por foliación, fracturamiento, replegamiento y bandeamiento. Regionalmente se observa una tendencia de orientación de 020° hasta 060° y buzamientos entre 20° a 60° al este.



En las perforaciones diamantinas ejecutadas se ha zonificado las diferentes áreas con los tipos de calidad de roca, complementados con geomecánica superficial e inferencia geológica en los tramos centrales no perforados.

#### **4.2.4 Geodinámica externa**

A lo largo del tramo del túnel 2, los sectores que están sometidos a procesos de geodinámica externa son los portales de entrada y salida, debido a que el eje del túnel se encuentra en la zona interna del afloramiento. En ese sentido, el portal de entrada está situado en una pequeña quebrada que presenta una topografía de moderada a abrupta, la cual se activa potencialmente con flujos de lodos, detritos y bloques en temporadas de lluvias estacionales o anomalías climáticas que puedan presentarse. De tal manera, se recomienda realizar medidas de control de drenaje o defensas en el cruce de la quebrada que nace en las partes altas de la montaña.

Así mismo, el portal de salida está situado entre una ladera de fuerte pendiente y el paso de una pequeña quebrada, la misma sobre cual debe tomarse en cuenta el paso de agua y la caída ocasional de rocas y/o bloques provenientes de las partes altas.

## **5. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TÚNEL 2**

La evaluación geotécnica del trazo del túnel 2 proyectado, corresponde a un extenso programa de investigaciones geotécnicas de campo y de laboratorio, las mismas que fueron analizadas en la etapa de gabinete.

### **5.1 Investigaciones de campo**

Se han ejecutado investigaciones geotécnicas indirectas, tales como, ensayos geofísicos de refracción sísmica, ensayos MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), MAM (Microtremor Array Measurement) y tomografía eléctrica; así mismo, se ejecutaron investigaciones geotécnicas directas, tales como, calicatas, DPL, estaciones geomecánicas y perforaciones diamantinas.

En el plano 18-GT-SM-T2-03 se presenta la ubicación de investigaciones geotécnicas ejecutadas.

#### **5.1.1 Investigaciones geotécnicas con métodos indirectos**

Principalmente, los métodos geofísicos se encuentran ubicados dentro de estos tipos de investigaciones, los cuales son empleados para determinar la estructura geológica-geotécnica del subsuelo a través de la distribución de alguna propiedad física del mismo, el cual depende del método a emplear. Entre los diferentes fenómenos físicos medibles, tenemos la variación del campo gravitatorio (gravimetría), potencial eléctrico (métodos geoelectricos), el campo magnético (magnetometría) y velocidades de propagación de ondas sísmicas (métodos sísmicos); siendo los métodos sísmicos y geoelectricos los disponibles para el presente estudio.

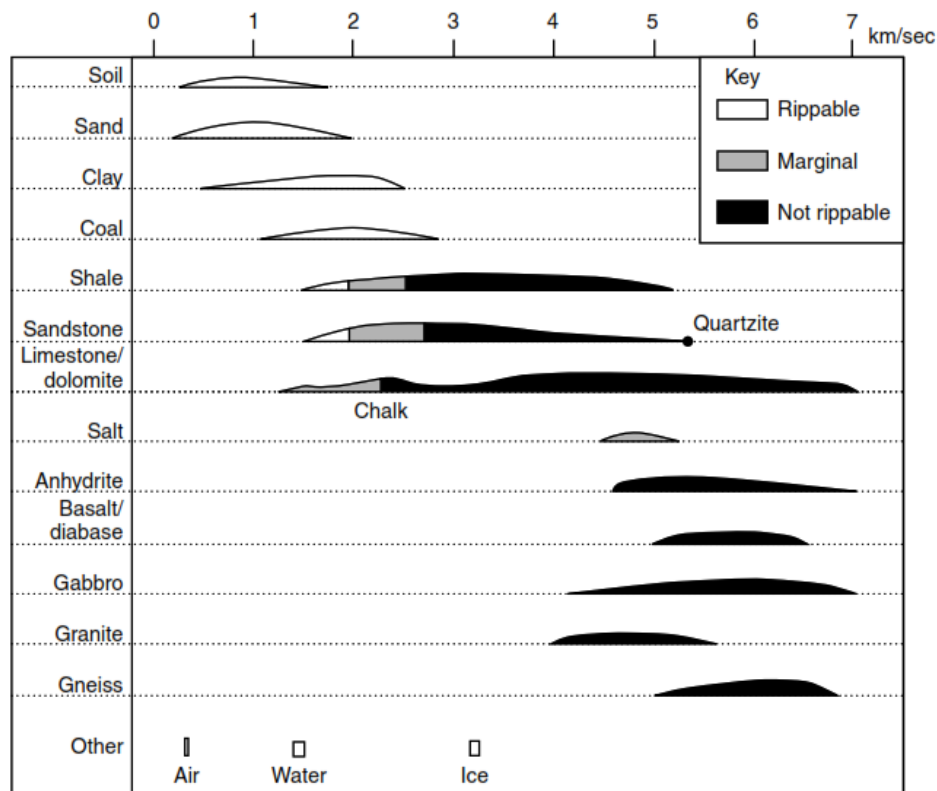
##### **5.1.1.1 Ensayos de refracción sísmica**

Este ensayo de campo es un método indirecto, no destructivo, mediante el cual se obtienen perfiles sísmicos en función de las velocidades de propagación de ondas primarias o las denominadas ondas “P”; asimismo, idealmente, las

interfaces estudiadas deben ser poco profundas, relativamente horizontales o con pendientes menores a  $15^\circ$ . Algunas velocidades de ondas P para rocas comunes se muestran en la Figura 8.

Este ensayo consiste en la medición de los tiempos de llegada de las ondas de compresión y corte (ondas P y S respectivamente), las cuales son ocasionadas por el impacto de una comba de 25 libras sobre un plato metálico; estos golpes son ubicados a distintas longitudes a lo largo de un eje sobre la superficie del suelo y registrados mediante un sismógrafo.

Con el registro de las velocidades de las ondas  $V_p$  y  $V_s$  y una interpretación adecuada, es viable delimitar los cambios de densidad en los estratos de los materiales del subsuelo, sus parámetros de deformación dinámicos y estáticos (módulo de elasticidad dinámico  $E_d$ ), módulo de elasticidad estático ( $E$ ) y relación de Poisson ( $\mu$ ), con la finalidad de estimar el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ). Cabe resaltar que la toma o no de estos parámetros va a depender del tipo de material, el objetivo del estudio y, sobre todo, el criterio del especialista.



**Figura 8 Rangos de velocidades de ondas en rocas comunes y su ripabilidad.**

*Nota:* Tomado de John Milson (2003)

La Tabla 12 resume las 04 líneas sísmicas realizadas para el túnel 2. La LS-15 y LS-16 se ejecutaron para investigar los materiales predominantes en el portal de entrada; y las líneas LS-18 y LS-19, para conocer los materiales del portal de salida.

**Tabla 12      *Resumen de líneas de refracción sísmica túnel 2***

<b>Código de línea sísmica</b>	<b>Coordenadas UTM (WGS84)</b>		<b>Longitud (m)</b>	<b>Ubicación de referencia</b>
	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>		
LS-15	365 236 E; 8 901 221 N	365 231 E; 8 901 121 N	100.00	5+715
LS-16	365 268 E; 8 901 128 N	365 200 E; 8 901 202 N	100.00	5+715
LS-18	365 382 E; 8 901 349 N	365 282 E; 8 901 343 N	100.00	5+900
LS-19	365 350 E; 8 901 282 N	365 330 E; 8 901 380 N	100.00	5+900

La interpretación de los datos sísmicos provenientes de campo se efectuó mediante los programas PickWin y PlotRefra. El primero, permite realizar las lecturas de los sismogramas y el segundo produce un modelo de profundidad a partir del archivo de datos de entrada dado por el primero. Asimismo, el software computa las velocidades de las capas de estratos a través de mínimos cuadrados, usa el método de tiempo de retardo para estimar las profundidades para, finalmente, ajustar las profundidades de cada capa por efecto de la superficie topográfica. Este último proceso se hace de forma iterativa hasta encontrar el modelo que se ajuste mejor con las investigaciones directas ejecutadas y/o a las interpretaciones de la geología del terreno estudiado. En la Tabla 13 se presenta el resumen de la interpretación de resultados obtenidos de la refracción sísmica.

**Tabla 13 Resultado de los ensayos de refracción sísmica**

Ubicación	Línea sísmica	Vp (m/s)	Espesor (m)	Tipo de material
5+715	LS-15	1051	0.50 – 4.50	Cobertura de suelo residual, saprolito y roca muy fracturada y/o meteorizada
		1750	2.00 – 20.00	Roca medianamente fracturada
		3030	*	Roca poco fracturada
5+715	LS-16	556	0.50 – 3.00	Cobertura de suelo residual, saprolito y roca muy fracturada y/o meteorizada
		1814	1.00 – 18.00	Roca medianamente fracturada
		3370	*	Roca poco fracturada
5+900	LS-18	605	0.50 – 3.00	Cobertura de suelo residual, saprolito y roca muy fracturada y/o meteorizada
		1063	18.00 – 20.00	Roca fracturada y/o meteorizada
		2119	*	Roca medianamente fracturada
5+900	LS-19	637	0.50 – 2.50	Cobertura de suelo residual, saprolito y roca muy fracturada y/o meteorizada
		1074	15.50 – 20.50	Roca fracturada y/o meteorizada
		2201	*	Roca medianamente fracturada

Nota: \* El espesor final no está delimitado.

En el Anexo C.1 Ensayos Geofísicos – Refracción sísmica, se presenta los perfiles sísmicos en función de las ondas compresionales (tipo P) logradas mediante el programa Plot Refra.

#### 5.1.1.2 Medición de ondas de superficie en arreglos multicanales (MASW)

Este ensayo de campo es un método indirecto, no destructivo, mediante el cual se obtienen secciones de los estratos de suelos con características geotécnicas similares, a través de velocidades de ondas de corte o las denominadas “Vs” (vinculado al mismo módulo de corte “G”), los mismos con

los que se puede determinar los parámetros dinámicos de los materiales que los componen. También, en este método las interfaces estudiadas deben ser relativamente horizontales, es decir, la zona en donde se coloquen los geófonos no debe tener una diferencia de cotas muy pronunciada.

Este ensayo es muy similar al ensayo de refracción sísmica, a diferencia que mide el tiempo de llegada de las ondas de corte ( $V_s$ ) generadas por el impacto de una comba de 20 libras sobre un disco de metal y registradas por 12 o más geófonos. Una de las principales diferencias con el ensayo anteriormente expuesto, consiste en que este método emplea geófonos de 4,5 Hz de frecuencia; asimismo, la longitud del cable que une los geófonos debe ser 1,5 a 2,5 veces la profundidad de investigación deseada.

Por otro lado, a diferencia de otros ensayos, el MASW permite detectar claramente estratos de suelos más blandos entre estratos más rígidos; así como también, el grado de compactación y/o fracturamiento de los materiales que se presentan.

La Figura 9 resume las velocidades de ondas P y S de algunas rocas y otros materiales:

<b>Material</b>	<b>Velocidad de compresión (m/s)</b>	<b>Velocidad de corte (m/s)</b>
Aire	330	
Agua	1450	
Arenas y arcillas	300 – 1900	100 – 500
Till glacial	1500 - 2700	600 – 1300
Gravas	1000 - 2000	
Caliza	1700 – 3000	600 – 1500
Caliza resistente	3000 – 6500	1500 – 3500
Granito meteorizado	100 – 3000	500 – 1500
Granito fresco	3000 – 6000	1500 – 3000
Pizarra	5000 – 7000	2500 - 3800
Arenisca débil	1000	

**Figura 9 Velocidades de ondas P y S de algunas rocas y otros materiales**

*Nota:* Tomado de CIRIA. (2002: 75)

La Tabla 14 muestra la ubicación de los ensayos MASW en el túnel 2.

**Tabla 14 Resumen de ensayos MASW**

<b>Código MASW</b>	<b>Coordenadas UTM (WGS84)</b>		<b>Progresiva</b>	<b>L.S. (referencial)</b>
	<b>Este</b>	<b>Norte</b>		
MASW-07	365 230	8 901 169	5+700	LS-15 y LS-16
MASW-09	365 341	8 901 330	5+900	LS-19

Los resultados de este ensayo nos permitirán obtener la variación de las velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ) hasta una profundidad de 30 m. aproximadamente. El procesamiento de la información de campo se realizó por medio del programa Seislmager/SW versión 1.4.

Se presenta la interpretación del perfil unidimensional de los ensayos MASW realizados en el Anexo C.1 Ensayos Geofísicos - MASW.



### 5.1.1.3 Ensayos MAM (Micro-tremor array measurement)

Este ensayo de campo es un método indirecto, no destructivo y pasivo de exploración geofísica, por el cual mediante una fuente pasiva o microtemor, generada por el ruido ambiental, tráfico, fábricas, movimiento de olas, entre otros, se detectan las ondas de superficie o Vs, con el objetivo de obtener perfiles de las capas del suelo, los mismos que sirven para la estimación de parámetros dinámicos del material analizado. Además, en este método, la zona en donde se coloquen los geófonos no debe tener una diferencia de nivel muy pronunciada, es decir, las interfaces estudiadas deben ser relativamente horizontales.

Al igual que el ensayo MASW, el MAM utiliza un sismógrafo de 12 a 24 canales, geófonos de baja frecuencia (4,5 Hz), cable de refracción y un software de modelamiento para estimar la velocidad de la onda S cerca de la superficie, tomando los registros de ondas Rayleigh de alta frecuencia. Sin embargo, a diferencia de los ensayos MASW, el MAM permite obtener velocidades de ondas de corte hasta profundidades de 50 a 80 m.

La Tabla 15 presenta la ubicación de los ensayos MAM en el túnel 2.

**Tabla 15      *Resumen de los ensayos MAM***

Código MASW	Coordenadas UTM (WGS84)		Referencia del lugar
	Este	Norte	
MAM-05	365 255	8 901 187	Túnel 2 - Portal de entrada
MAM-06	365 309	8 901 244	Túnel 2 - Portal de entrada
MAM-07	365 357	8 901 291	Túnel 2 - Portal de salida
MAM-08	365 406	8 901 377	Túnel 2 - Portal de salida

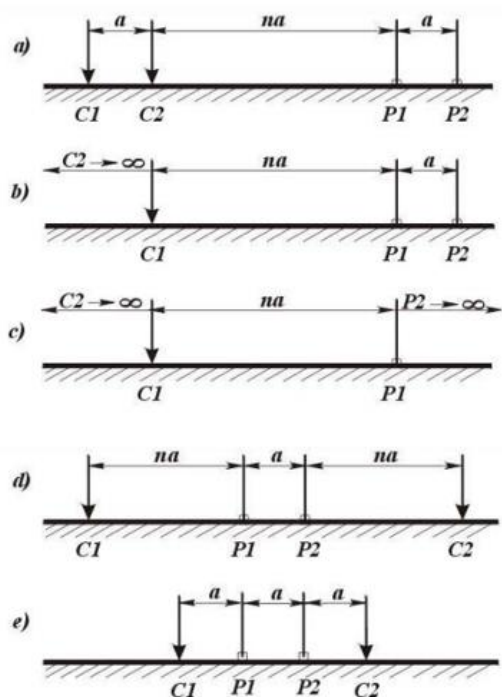
En el Anexo C.1 Ensayos Geofísicos - MAM, se presenta la interpretación del perfil unidimensional de los ensayos MAM realizados.

#### **5.1.1.4 Tomografía eléctrica**

Este ensayo de campo es un método indirecto, no destructivo y pasivo de exploración geofísica, el cual tiene por objetivo obtener secciones 2D de resistividades del suelo, a partir de cual podemos determinar la presencia o no de filtraciones de agua a diferentes profundidades, así como aspectos estructurales marcados presentes en el subsuelo.

Este método es una técnica multielectrónica (48 a 72 en las configuraciones más recientes), a diferencia de los métodos convencionales, en el cual todo el proceso se encuentra totalmente automatizado. Se basa en inducir un campo eléctrico al subsuelo mediante electrodos de corriente conectados a un miliamperímetro, mientras que los demás electrodos, los mismos que están conectados a un milivoltímetro, servirán para estimar la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos distintos; asimismo, este parámetro permitirá calcular el valor de la resistividad en el punto medio del dispositivo y a una profundidad determinada.

Por otro lado, para la disposición de los diferentes arreglos de los dispositivos debe considerarse inicialmente la profundidad hasta la cual se desea investigar, la sensibilidad del arreglo a los cambios verticales y horizontales de la potencial resistividad subterránea que va a depender de la geología de la zona, la cobertura horizontal de datos y la relación señal-ruido del lugar en el momento de la ejecución. Ver la Figura 10.



**Figura 10** Diferentes dispositivos usados en tomografía eléctrica: a) Dipolo-dipolo, b) Wenner-Schlumberger, c) Wenner, d) Polo-polo y e) Polo-dipolo.

Nota: Tomado de López Hidalgo, Andrés. *La tomografía eléctrica como herramienta de diagnóstico ambiental subsuperficial en la industria del petróleo y del gas*.

La Tabla 16 muestra la ubicación de las 04 líneas de tomografía eléctrica ejecutadas en el túnel 2.

**Tabla 16      *Resumen de líneas de tomografía eléctrica túnel 2***

<b>Código tomografía eléctrica</b>	<b>Coordenadas UTM (WGS84)</b>		<b>Prof. de investigación aproximada (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Dispositivo de adquisición</b>
	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>			
ERT 05	365 319 E; 8 901 156 N	365 185 E; 8 901 211 N	33.0	150	Dipolo-dipolo
ERT 06	365 289 E; 8 901 231 N	365 202 E; 8 901 109 N	33.0	150	Dipolo-dipolo
ERT 07	365 485 E; 8 901 391 N	365 368 E; 8 901 472 N	33.0	150	Dipolo-dipolo
ERT 08	365 489 E; 8 901 512 N	365 412 E; 8 901 388 N	33.0	150	Dipolo-dipolo

En el Anexo C.1 Ensayos Geofísicos – Tomografía eléctrica, se presenta la interpretación del procesamiento de los datos obtenidos en campo para la realización del ensayo de tomografía eléctrica.

## **5.1.2      Investigaciones geotécnicas con métodos directos**

### **5.1.2.1      Excavaciones de calicatas**

La ejecución de calicatas se considera el método más común y efectivo para la exploración y obtención de muestras con fines geotécnicos. Dichas excavaciones pueden tener entre 1.5 a 2.0 m de diámetro (si es circular) y de 1.50 a 2.0 m por lado (si es cuadrada), con una profundidad variable entre 0.40 a 4.00 m que va a depender de la naturaleza del terreno; por ejemplo, presencia del nivel freático o material saturado, estratos gravosos, bloques de roca o presencia del macizo rocoso. La excavación de calicatas puede realizarse de forma manual (pico, barreta y pala) y por medio de maquinaria (mediante retroexcavadoras o equipos similares).

Las calicatas del presente estudio se realizaron de forma manual, con una sección de al menos 1.50 m x 1.20 m y una profundidad de 2.40 m como máximo.

En la Tabla 17 se resumen las excavaciones de calicatas realizadas en el área de estudio, en el Anexo C.2 Excavación de calicatas se muestran los registros.

**Tabla 17      *Resumen de calicatas del túnel 2***

Sondeo	Progresiva	Coordenadas topográficas		Profundidad (m)	Nivel freático (m)
		Este	Norte		
CE-30	5+690	365 225	8 901 165	2.40	N.P.
CE-31	6+070	365 459	8 901 458	0.60	N.P.

En el plano 18-GT-SM-T2-03 se despliega las ubicaciones de las excavaciones realizadas.

#### **5.1.2.2      Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL)**

Esta es una prueba de campo que consiste en enterrar una varilla perpendicularmente en el terreno, con el objetivo de obtener los parámetros de resistencia a la penetración mediante el ensartado continuo en tramos de 10 cm de una punta cónica de 60° utilizando la energía de un martillo de 10 kg de masa, que cae libremente desde una altura de 50 cm, generando una energía de compactación relativa a la sección transversal de la punta por cada golpe de 50 kJ/m<sup>2</sup>.

Así mismo, este ensayo está recomendado para suelos que admiten la introducción de la varilla con la punta cónica hasta que se dé el rechazo ya sea por presencia de gravas u otros factores análogos. Algunos de los factores geotécnicos que ejercen influencia en la resistencia a la penetración de los materiales son los siguientes:

- La densidad, la granulometría, textura granular, aspereza, forma del grano, los minerales que la componen, la cohesión y el estado de confinamiento de los suelos de grano grueso.
- La plasticidad, forma y estructura de los suelos de grano fino.

- La estructura, los antecedentes geológicos y las mezclas con otros tipos de suelos en los suelos orgánicos.
- Cuando se efectúa el ensayo, el agua subterránea ejerce una influencia visible al existir poca resistencia a la penetración.
- Los elementos técnicos del equipo como el diámetro de la punta y la longitud de la varilla.

Los valores estimados con esta prueba fueron correlacionados con el valor N del ensayo SPT, estimándose así los parámetros físicos mecánicos del suelo. El valor de N (SPT) es determinado a partir de la relación planteada por el Ing. A. Martínez V. en el XIII congreso de ingeniería civil (Puno, 1990), el cual permite determinar el valor N cuando se usan penetrómetros de dimensiones y energías distintas.

$$N_{SPT} = N_{DPL} \frac{W_1 H_1 A_2 e_2}{W_2 H_2 A_1 e_1}$$

Donde:

NSPT = Número de golpes por 30 cm del SPT.

NDPL = Número de golpes por 10 cm del DPL.

W1, W2 = Peso del martillo.

H1, H2 = Altura de caída.

A1, A2 = Área de sección transversal.

e1, e2 = Distancia de penetración.

Se obtuvo que el promedio del número de golpes para tres tramos de 10 cm de penetración del ensayo de DPL, equivale al número de golpes para 30 cm de penetración del ensayo SPT, en base de una serie de registros recopilados de ensayos DPL y SPT efectuados en una misma área para distintos proyectos.

La Tabla 18 resume el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) realizadas en el área de estudio, en el Anexo C.3 Ensayos DPL se presentan los registros de las pruebas.

**Tabla 18      Resumen de ensayos de DPL del túnel 2**

Sondeo	Progresiva	Coordenadas topográficas		Profundidad alcanzada (m)	Referencia
		Este	Norte		
DPL-10	6+070	365 020	8 901 632	4.00	CE-31

En el plano 18-GT-SM-T2-03 se despliega la ubicación del ensayo DPL realizado.

### 5.1.2.3      Estaciones geomecánicas

Las estaciones geomecánicas son evaluaciones *insitu*, en la cual se toman una serie de datos de un sector del macizo rocoso, la misma que es representativa a la zona de estudio. Los trabajos por realizar durante la ejecución de las estaciones geomecánicas son: la definición de litotipos, clasificación geomecánica, levantamiento de discontinuidades y evaluación del estado tensorial, así como la selección de muestras típicas de roca, las cuales fueron remitidas a diferentes laboratorios especializados, con la finalidad de obtener parámetros de resistencia de las discontinuidades.

- Definición de litotipos; lo cual definieron las características mecánicas y litológicas de la zona.
- Clasificación geomecánica; el mismo que tiene por objetivo valorar la calidad geotécnica del macizo rocoso mediante la clasificación de Bieniawski (RMR), clasificación de Barton (Índice Q) y el Índice de Resistencia Geológica (GSI).
- Levantamiento de discontinuidades; en la cual se determinaron las principales familias de diaclasas y/o fallas en campo, en donde se obtuvieron parámetros como el tipo de plano, orientación (buzamiento y dirección de buzamiento), espaciamiento, continuidad, rugosidad, tipo de relleno y presencia de agua.

- Evaluación del estado tensorial; análisis de microestructuras que pudieran servir para la estimación del estado tensorial, e.g. reorientación de minerales, foliaciones, diaclasas, zonas de cizalla, etc.

La Tabla 19 resume las estaciones geomecánicas superficiales ejecutadas en la zona de estudio, en el Anexo C.4 Estaciones geomecánicas se presenta el detalle de los registros.

**Tabla 19      *Resumen de ensayo de estaciones geomecánicas del túnel 2***

Sondeo	Progresiva	Coordenadas topográficas		Litología
		Este	Norte	
EG-11A (Portal de entrada)	5+720 – 5+740	365 277	8 901 152	Esquisto micáceo
EG-11 (Eje túnel)	5+770 – 5+790	365 319	8 901 198	Esquisto micáceo
EG-12A (Portal de salida)	6+060 – 6+070	365 467	8 901 453	Esquisto micáceo

En el plano 18-GT-SM-T2-03 se despliega las ubicaciones de las estaciones geomecánicas realizadas en superficie.

#### **5.1.2.4      Perforaciones diamantinas**

Las perforaciones diamantinas se ejecutaron por el método rotativo con recuperación de testigos continua, usando brocas diamantadas y agua limpia como fluido de refrigeración, siguiendo las normas Diamond Core Drill Manufacturers Association (D.C.D.M.A.); además de tenerse en cuenta las especificaciones técnicas respectivas con el objetivo de obtener la información del material recuperado a través del logueo geológico-geotécnico.

Para la extracción de los testigos, se usó los métodos estándar y wire line, para asegurar la máxima recuperación y mayor representatividad, se aplicaron criterios técnicos adecuados, entre ellos:



- Se llevó a cabo con una presión mínima, controlando que la velocidad de penetración no sea superior a la velocidad de corte del tubo exterior.
- La velocidad de rotación alcanzada estuvo en función a la resistencia, fracturamiento y profundidad del material, tratando de evitar una fracturación o trituración demás.
- Las perforaciones en material suelto fueron ejecutadas con broca serrucho o broca de descargar frontal, en donde ciertas muestras fueron recuperadas tomando el mayor cuidado posible.

La Tabla 20 muestra las coordenadas, el azimut y la longitud alcanzada de las perforaciones diamantinas ejecutadas para investigar de manera directa el trazo del túnel 2, dichas perforaciones fueron ejecutadas sub horizontales a lo largo del eje proyectado, llegando alcanzar una longitud total de 120 y 100 metros respectivamente.

**Tabla 20      *Resumen de ensayo de perforación diamantina***

Sondeo	Progresivas de inicio	Longitud total	UTM (WGS' 84)		Azimut
			Este	Norte	
P-VE(T2)-16-01	5+670	120 m	365 219	8 901 136	036°
P-VE(T2)-16-02	6+050	100 m	365 439	8 901 440	216°


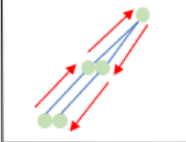
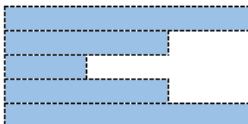

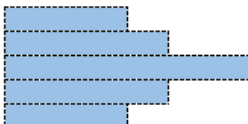
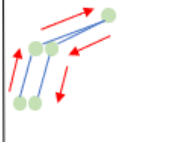
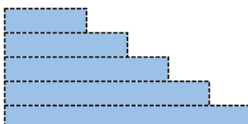
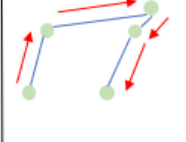
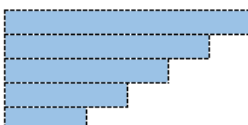
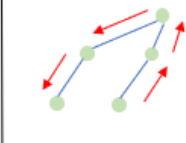
En el Plano 18-GT-SM-T2-03, se presentan las ubicaciones en planta de las perforaciones diamantinas ejecutadas y en el Anexo C.5 Perforaciones diamantinas - logueo geológico-geotécnico, se presentan los logueos correspondientes.

#### **5.1.2.5      Ensayos de permeabilidad**

Los ensayos de permeabilidad realizados en macizos rocosos, denominados ensayos Lugeon, son investigaciones geotécnicas que definen el valor de la permeabilidad (k), donde se infiltra agua a presión constante en tramos aislados o semiaislados dentro de las perforaciones. Este ensayo

generalmente se realiza en tramos de cada 5 metros, en donde se aísla por obturadores neumáticos, en cinco intervalos de 10 minutos con una presión de agua constante en cada intervalo, el ensayo se ejecuta a presión creciente y decreciente entre cero y presión máxima.

El ensayo Lugeon se define como la absorción de agua de 1 litro por metro de sondeo y por minuto, realizando el ensayo a 10 atmósferas de presión durante 10 minutos. Una unidad Lugeon equivale a un coeficiente de permeabilidad de  $10^{-5}$  cm/s. Sin embargo, no siempre una mayor presión efectiva representa mejor el valor de Lugeon del terreno. Por otro lado, es importante resaltar que el coeficiente de permeabilidad del macizo rocoso se encuentra directamente relacionado con el grado de fracturamiento y las características de las discontinuidades que cruza el ensayo en profundidad. Ver Figura 11.

Tipo de flujo	Etapas	Patrones Lugeon	Interpretación de los patrones	Valor a usar como unidad Lugeon	Curva de interpretación												
Flujo laminar	1° 2° 3° 4° 5°		Los 5 valores Lugeon son aproximadamente iguales	Se usa el promedio de los 5 valores													
Flujo turbulento	1° 2° 3° 4° 5°		El valor Lugeon más bajo ocurre en la presión máxima	Se usa el valor Lugeon para la presión máxima													
Flujo dilatación	1° 2° 3° 4° 5°		El valor Lugeon más alto ocurre en la presión máxima	Se usan los valores Lugeon para las presiones mínimas y/o medias													
Flujo erosión	1° 2° 3° 4° 5°		Los valores Lugeon aumentan en el proceso de la prueba (por cambios en el medio rocoso)	Se usa el valor Lugeon más alto													
Flujo relleno	1° 2° 3° 4° 5°		Los Lugeones decrecen en el proceso de la prueba (los vacíos son gradualmente rellenos)	Se usa el valor Lugeon más bajo													
<div>Clasificación del valor Lugeon representativo</div> <table><tr><td>0 -1</td><td>U.L.</td><td>Muy favorable</td></tr><tr><td>1-3</td><td>U.L.</td><td>Favorable</td></tr><tr><td>3-10</td><td>U.L.</td><td>Desfavorable</td></tr><tr><td>&gt; 10</td><td>U.L.</td><td>Muy desfavorable</td></tr></table>						0 -1	U.L.	Muy favorable	1-3	U.L.	Favorable	3-10	U.L.	Desfavorable	> 10	U.L.	Muy desfavorable
0 -1	U.L.	Muy favorable															
1-3	U.L.	Favorable															
3-10	U.L.	Desfavorable															
> 10	U.L.	Muy desfavorable															

**Figura 11 Interpretación de ensayo Lugeon. Houlsby, 1976**

La Tabla 21 resume los ensayos de permeabilidad de tipo Lugeon ejecutados en las perforaciones diamantinas P-VE (T2)-16-01 y P-VE (T2)-16-02:

**Tabla 21      *Resumen de ensayos Lugeon***

<b>Sondeos</b>	<b>Ensayos</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Unidad Lugeon (UL)</b>	<b>K (cm/s)</b>	<b>Tipo de flujo</b>
P-VE(T2)-16-01 Portal de entrada	01	78.00 – 83.00	5.25	$6.83 \times 10^{-5}$	Flujo laminar
P-VE(T2)-16-02 Portal de salida	01	58.00 – 63.00	1.00	$1.30 \times 10^{-5}$	Flujo turbulento
	02	95.00 – 100.00	1.14	$1.14 \times 10^{-5}$	Flujo turbulento

Los resultados de las pruebas se ubican en el Anexo C.5 Perforación diamantina – permeabilidad.

## **5.2      Ensayos de laboratorio**

### **5.2.1              Ensayos de mecánica de suelos**

#### **5.2.1.1              Análisis granulométrico por tamizado**

El análisis granulométrico por tamizado fue determinado en el laboratorio, como se indica en la norma ASTM D-422. El presente es un ensayo mediante el cual se clasifica una muestra de suelo representativa con la finalidad de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano por vía seca para tamaños superiores a 0.075 mm. Así mismo, de acuerdo con el porcentaje de material que pase por cada tamiz, se le otorga un nombre o clasificación, los cuales están resumidos en la Figura 12.

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7,6 cm y basando las fracciones en pesos estimados)					Símbolo del grupo	Nombres típicos			
Suelos de grano grueso-Más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.º 200	Gravas más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4	Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos			
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos				
			Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo				
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla				
	Arenas más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4	Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos			
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos				
			Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas				
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas				
	Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N.º 40								
	Limos y arcillas con límite líquido menor de 50	Resistencia en estado seco (a la desagregación)	Distancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad			
Nula a ligera						Rápida a lenta	Nula	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas
Media a alta						Nula a muy lenta	Media	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
Ligera a media						Lenta	Ligera	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas, suelos limosos
Ligera a media		Lenta a nula	Ligera a media	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas				
					Alta a muy alta	Nula	Alta	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta
					Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos
					Suelos altamente orgánicos				

Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. P. ej., GW-GC, mezcla bien graduada de arena y grava. Todos los tamaños de tamices se refieren al U.S. Standard.

Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. P. ej., GW-GC, mezcla bien graduada de arena y grava. Todos los tamaños de tamices se refieren al U.S. Standard.

**Figura 12 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)**

*Nota:* Tomado de Lambe y Whitman, 1981.

### 5.2.1.2 Contenido de humedad

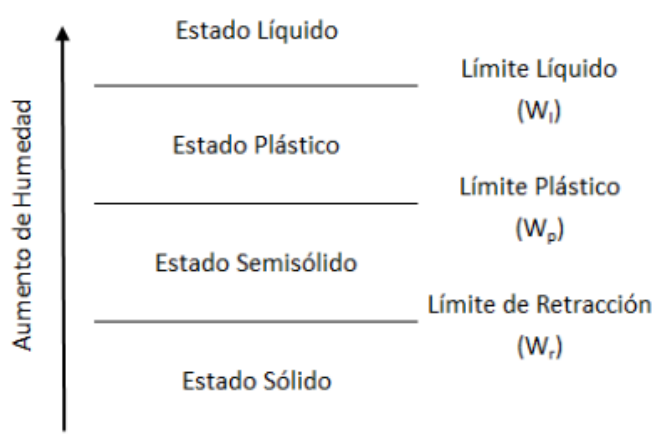
El análisis de contenido de humedad es una relación expresada en porcentaje, la cual representa la cantidad relativa de agua que se encuentra en una muestra de suelo respecto a la masa sólida del mismo.

Los ensayos de contenido de humedad fueron determinados en el laboratorio, tal como se indica en la norma ASTM D-2216 y se resumen en la Tabla 22.

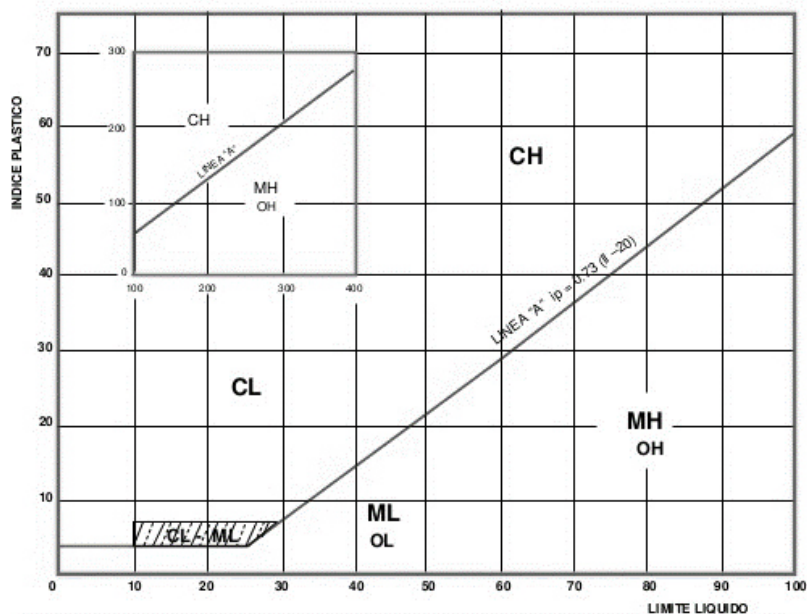
### 5.2.1.3 Límites de Atterberg

Los métodos de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos fueron determinados en el laboratorio, tal como se indica en la norma ASTM D-4318. El presente ensayo tiene por objetivo definir la consistencia del suelo en función del contenido de agua y de su capacidad para absorberla. Para ello, se definen tres límites: el límite líquido, WL, el cual separa el estado plástico del semilíquido, el límite plástico, WP, el cual distingue el estado semisólido del plástico y límite de retracción o consistencia, WR, el cual distingue el estado sólido seco del semisólido (ver Figura 13), los mismos para los cuales existen métodos (dados en la norma) a fin de determinar sus valores numéricos.

Una vez hallados WL y WP, se puede conseguir el IP o Índice de Plasticidad, el cual resulta de la diferencia de estos, y representa el intervalo de humedades para pasar del estado semisólido al semilíquido; asimismo, con estos datos se puede obtener un punto representativo en la carta de plasticidad de Casagrande (ver Figura 14).



**Figura 13 Resumen de interacción entre límites y estados de la materia**



**Figura 14 Carta de plasticidad de Casagrande**

En la Tabla 22 se presenta un resumen de los resultados de los ensayos estándar realizados en el laboratorio:

**Tabla 22 Resumen de ensayos estándar de la perforación diamantina**

Sond eo	Muest ra	Prof. (m)	Granulometría (%)			Límites (%)			Humed ad (%)	SUC S
			Grav a	Aren a	Fino s	L L	L P	IP		
P-VE (T2)- 16-01	M-7	99.3 0 – 101. 60	9.85	13.9 3	38.5 0	-	N P	N P	21	SM
P-VE (T2)- 16-01	M-8	118. 00 – 119. 20	10.2 5	15.1 3	34.1 0	2 2	N P	N P	14	SM

### 5.2.2 Ensayos de Mecánica de Rocas

Los ensayos de mecánica de rocas tienen como objetivo principal determinar las propiedades y características importantes de las muestras de roca; y así, proporcionar información valiosa para los cálculos de diseño. Los distintos

ensayos realizados fueron ejecutados siguiendo los procedimientos de acuerdo con su respectiva norma ASTM, tal como se indica en cada ensayo.

#### 5.2.2.1 Propiedades físicas

Este ensayo tiene como objetivo estimar propiedades básicas de los sólidos con las muestras conseguidas en las diversas estaciones geomecánicas y las perforaciones diamantinas realizadas a diferentes profundidades.

Las propiedades físicas fueron determinadas en el laboratorio, bajo las normas ASTM, tales como: gravedad específica, absorción (ASTM D6473 - 10) y densidad (ASTM D2937 - 10). A continuación, en la Tabla 23

**Tabla 23** y Tabla 24 se resumen los resultados de los ensayos de propiedades físicas realizados en las muestras extraídas de las estaciones geomecánicas y perforaciones ejecutadas.

**Tabla 23      *Resumen de propiedades físicas en estaciones geomecánicas***

Estación geomecánica	Progresiva (km)	Muestra	Litología	Absorción (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Gravedad específica
EG-11A	Portal entrada - túnel 2	M-1	Esquisto micáceo	1.36	2.59	2.61
EG-11	Eje túnel 2	M-1	Esquisto micáceo	1.05	2.65	2.67
EG-12A	Portal salida - túnel 2	M-1	Esquisto micáceo	1.29	2.69	2.70

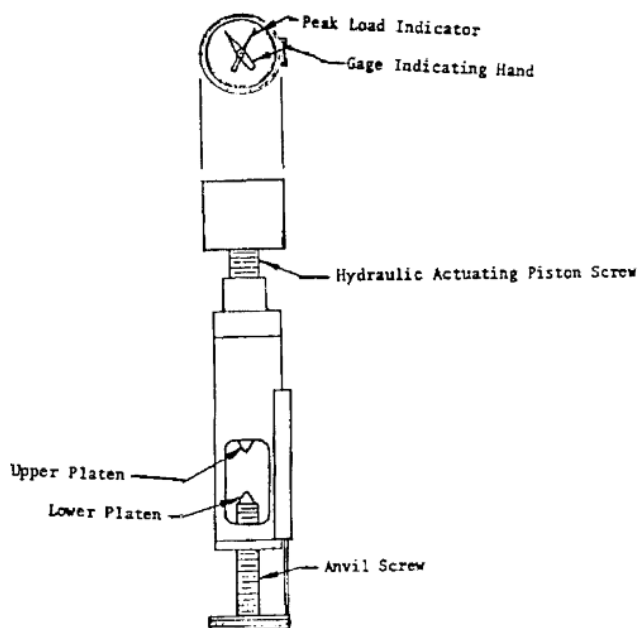


**Tabla 24      *Resumen de propiedades físicas en perforaciones***

Sondeo	Muestra	Profundidad	Litología	Absorción (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Gravedad específica
P-VE (T2)-16-01	M-1	31.90 - 33.20	Esquisto	0.51	2.72	2.74
P-VE (T2)-16-01	M-2	62.20 - 63.80	Esquisto	0.24	2.90	2.92
P-VE (T2)-16-01	M-6	82.30 - 83.60	Esquisto alterado	0.86	2.72	2.74
P-VE (T2)-16-02	M-1	33.70 - 34.70	Gneis	0.58	2.73	2.74
P-VE (T2)-16-02	M-2	61.20 - 62.20	Esquisto	0.60	2.71	2.72
P-VE (T2)-16-02	M-3	83.10 - 84.00	Esquisto	1.09	2.68	2.70
P-VE (T2)-16-02	M-7	97.25 - 98.00	Esquisto	0.59	2.71	2.72

**5.2.2.2      Carga puntual**

Esta prueba consiste en estimar la resistencia a la compresión uniaxial o simple de la roca intacta, a partir de la rotura de un trozo de muestra entre dos puntas cónicas de acero endurecido (ver Figura 15). Cuando se obtienen muestras de testigos, se seleccionan al menos 10 especímenes; sin embargo, al obtener muestras de forma irregular por otros medios, se seleccionan al menos 20 especímenes para ser ensayados. Así mismo, es conveniente que los diámetros no sean inferiores a 30 mm ni superiores a 85 mm, con las formas y requisitos de tamaños tal como se indica en su respectiva norma ASTM, teniendo en cuenta que los lados de las muestras deben estar libres de irregularidades abruptas que puedan generar concentraciones de esfuerzos.



**Figura 15 Ensayo de carga puntual**

*Nota:* Tomado de la norma ASTM D-5731 (1995).

La resistencia de la carga puntual no corregida  $I_s$  se calcula de la siguiente manera:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad \text{MPa}$$

P = Fuerza necesaria para romper la muestra. N.

$D_e$  = Diámetro equivalente del núcleo, en donde:

$$D_e^2 = D^2$$

$$D_e^2 = 4 \frac{A}{\Pi} \quad A = WD$$

D = Diámetro de testigos, distancia entre las puntas cónicas en el momento de la rotura.

W = Ancho medio del bloque ensayado (semisuma del ancho máximo y mínimo).

Respecto al factor de corrección, cuando un valor de  $D_e$  es distinto de 50 mm, se realiza una corrección para eliminar la influencia dada por

el tamaño de la muestra; con esa metodología, se obtiene un  $I_{s(50)}$ , la cual se puede calcular con la siguiente expresión:

$$I_{s(50)} = \left( \frac{D_e}{50} \right)^{0.45} I_s$$

La estimación de la resistencia a la compresión simple se obtiene usando la siguiente fórmula:

$$\sigma = CI_{s(50)}$$

$\sigma$  = Resistencia a la compresión simple

C = Factor que depende de la correlación específica entre  $\sigma$  y  $I_{s(50)}$

**Tabla 25 Valor Generalizado de “C”**

Tamaño del testigo (mm)	Valor de C (generalizado)
20	17.5
30	19
40	21
50	23
54	24
60	24.5

*Nota:* Tomado de métodos sugeridos por el ISRM, 1994.

Los ensayos de carga puntual fueron determinados en el laboratorio, como se indica en la norma ASTM D-5731.

**Tabla 26 Resumen de carga puntual en estaciones geomecánica**

E. G.	Sector	Litología	Is (50) (Mpa)			Resistencia a la compresión simple (MPa)		
			Max	Min	Pro m	Max	Mi n	Pro m
EG-11A	Portal entrada - túnel 2	Esquisto micáceo	2.0	0.4	0.88	49	10	21
EG-11	Eje túnel 2	Esquisto micáceo	3.4	1.7	2.19	81	40	53
EG-12A	Portal salida - túnel 2	Esquisto micáceo	3.2	1.5	2.33	77	36	56

### 5.2.2.3 Ensayo de compresión uniaxial

Este ensayo de laboratorio consiste en la determinación de la resistencia a la compresión uniaxial mediante la rotura de una probeta cilíndrica de roca que deberá ser tallada de tal manera que su altura se encuentre entre el doble y el triple de su diámetro, el cual deberá ser de por lo menos 47 mm para la mayoría de casos y al menos 10 veces mayor que el tamaño del cristal más grande que se presenta en la muestra; así mismo, para rocas de baja resistencia, las cuales tienden a comportarse como suelos, el diámetro deberá ser de al menos 6 veces el tamaño del grano más grande.

En ese sentido, los testigos de prueba deberán ser no drenadas y no contener discontinuidades que la atraviesen; así como también, tener en cuenta que el ensayo no prevé medidas de presión de poro.

El cálculo de la resistencia a la compresión está expresado mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

- $\sigma$  = Resistencia a la compresión uniaxial
- P = Máxima carga (kN)
- A = Área de la sección transversal (cm<sup>2</sup>)

Las pruebas se ejecutaron acorde la norma ASTM D2938-95, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 27      *Resumen de compresión uniaxial en rocas***

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	Diámetro (cm)	Carga de rotura (kN)	R.C.S (kg/cm <sup>2</sup> )	R.C.S (MPa)
P-VE(T2)-16-01	M-1	31.90 – 33.20	6.07	123.1	436	42.8
	M-2	62.20 – 63.80	6.09	132.2	465	45.6
	M-6	82.30 – 83.60	6.10	39.9	139	13.7
P-VE(T2)-16-02	M-1	33.70 – 34.70	6.31	46.2	151	14.8
	M-2	61.20 – 62.20	6.04	87.9	313	30.7
	M-3	83.10 – 84.00	6.04	45.4	162	15.8
	M-7	97.25 – 98.00	6.04	43.4	153	15.0

#### **5.2.2.4      Ensayo de constantes elásticas**

Este ensayo consiste en la determinación de las propiedades elásticas o módulo de Young (E) y coeficiente de Poisson (ν) a través de la realización de la resistencia a la compresión uniaxial con sus condiciones de muestreo y determinada a partir de información obtenida de medidores de deformación de resistencia eléctrica, compresómetros, transformadores diferenciales lineales u otros medios adecuados.

La resistencia a la compresión de las muestras será determinada de la siguiente manera:

$$\sigma = (\sigma_1 - \sigma_3)$$

Donde:

- $\sigma$  = Esfuerzo por falla diferencial
- $\sigma_1$  = Esfuerzo total por falla
- $\sigma_3$  = Esfuerzo de confinamiento

La deformación axial ( $\varepsilon_a$ ) es representada por:

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta L}{L}$$

Donde:

- $L$  = Longitud axial original no deformada del testigo
- $\Delta L$  = Variación de la longitud axial (debe ser negativo porque disminuye en medida)
- La deformación lateral ( $\varepsilon_l$ ) es representada por:

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta D}{D}$$

Donde:

- $D$  = Diámetro original no deformado
- $\Delta D$  = Variación del diámetro (positivo porque aumenta en medida)

El resumen de los resultados de propiedades elásticas llevados a cabo se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 28      *Resumen de ensayos propiedades elásticas en rocas***

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	R.C.S (MPa)	Módulo de Young "E" (GPa)	Relación de Poisson "v"
P-VE(T2)-16-01	M-5	71.00 72.80	– 18.1	3.69	0.31
P-VE(T2)-16-01	M-6	94.10 95.35	– 19.6	4.73	0.29

#### 5.2.2.5      **Ensayo de corte directo en rocas**

Este ensayo consiste en la determinación de los parámetros de resistencia al corte mediante la expresión dada Mohr-Coulomb en una discontinuidad (natural o artificial) para una sola muestra ensayada. La prueba se realiza, generalmente, en estado no drenado con una aplicación de una carga normal constante (en el orden de 450 a 900 N) durante la ejecución del ensayo (ver Figura 16); sin embargo, una discontinuidad limpia y abierta puede ser de drenaje libre, en la cual, podría considerarse como una prueba drenada. Durante la prueba, la resistencia al corte se determina para varios esfuerzos

normales aplicados al plano cortado y en varios desplazamientos de corte. Las relaciones derivadas de los datos de prueba incluyen resistencia al corte versus esfuerzo normal y esfuerzo cortante versus desplazamiento de corte (ver Figura 17).

Respecto a las dimensiones del espécimen, la altura del espécimen deberá ser mayor que el grosor de la zona de corte (prueba) y suficiente para incrustar la muestra en los anillos de sujeción. En la mayoría de los casos, la dimensión transversal mínima de la muestra debe ser al menos 10 veces el mayor tamaño de grano en la muestra. El plano de prueba deberá tener un área mínima de 1900 mm<sup>2</sup>. Cabe resaltar que las rocas porosas deben recubrirse con un sellador no absorbente para evitar la absorción de agua del compuesto encapsulante.

Se deberá calcular las áreas de prueba de la sección transversal nominal; sin embargo, para muestras que tienen una función de prueba que no es normal al eje central, el área estará determinada por:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4 \times \cos \vartheta}$$

Donde:

- $D$  = Diámetro del testigo
- $\vartheta$  = Ángulo de la punta

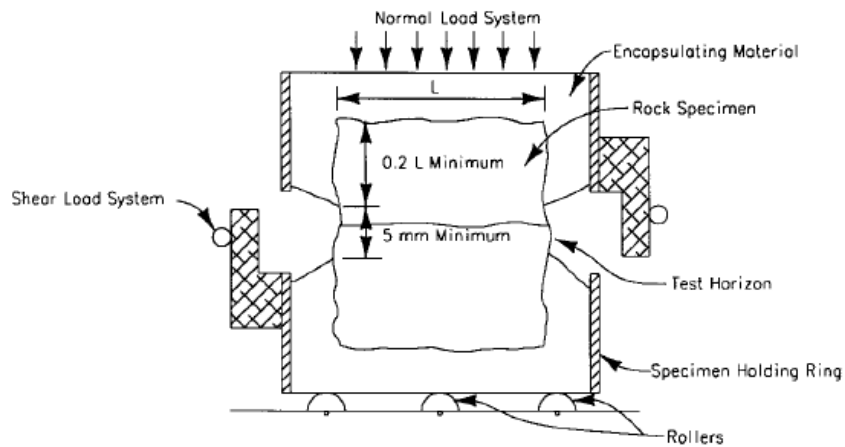
Respecto a los cálculos de los esfuerzos, corresponden a las siguientes ecuaciones:

$$\text{Esfuerzo normal aparente } \sigma = \frac{P_n}{A}$$

$$\text{Esfuerzo cortante aparente } \tau = \frac{P_s}{A}$$

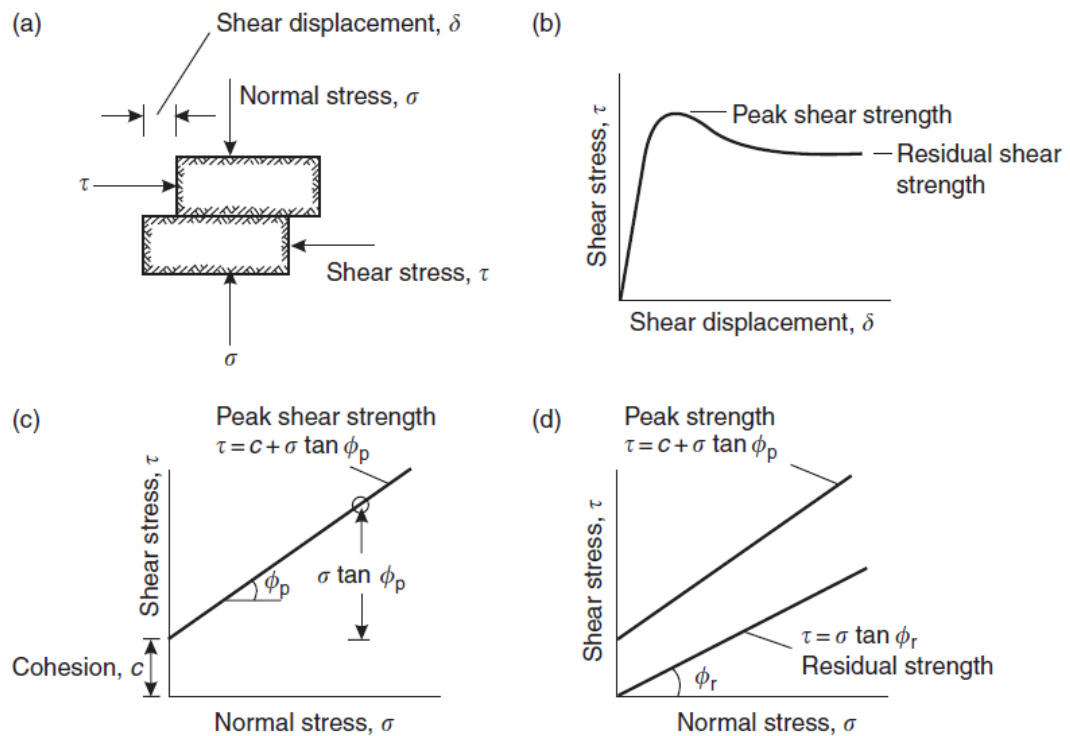
Donde:

- $P_n$  = Carga normal
- $P_s$  = Carga cortante
- $A$  = Área nominal inicial de sección transversal



**Figura 16 Configuración del ensayo, caja de corte directo con muestra encapsulada**

*Nota:* Tomado de la norma ASTM D5607 (1995).



**Figura 17 Definición de resistencia cortante en superficie de discontinuidades: (a) ensayo de corte de directo sobre una discontinuidad, (b) Ploteo de desplazamiento de corte vs esfuerzo**



**cortante, (c) Ploteo de resistencia máxima, (d) Ploteo de resistencia máxima y residual**

*Nota:* Tomado de Wyllie Duncan & Mah Christopher (2004).

Las pruebas se efectuaron acorde a la norma ASTM D5607-95, obteniéndose los siguientes resultados:

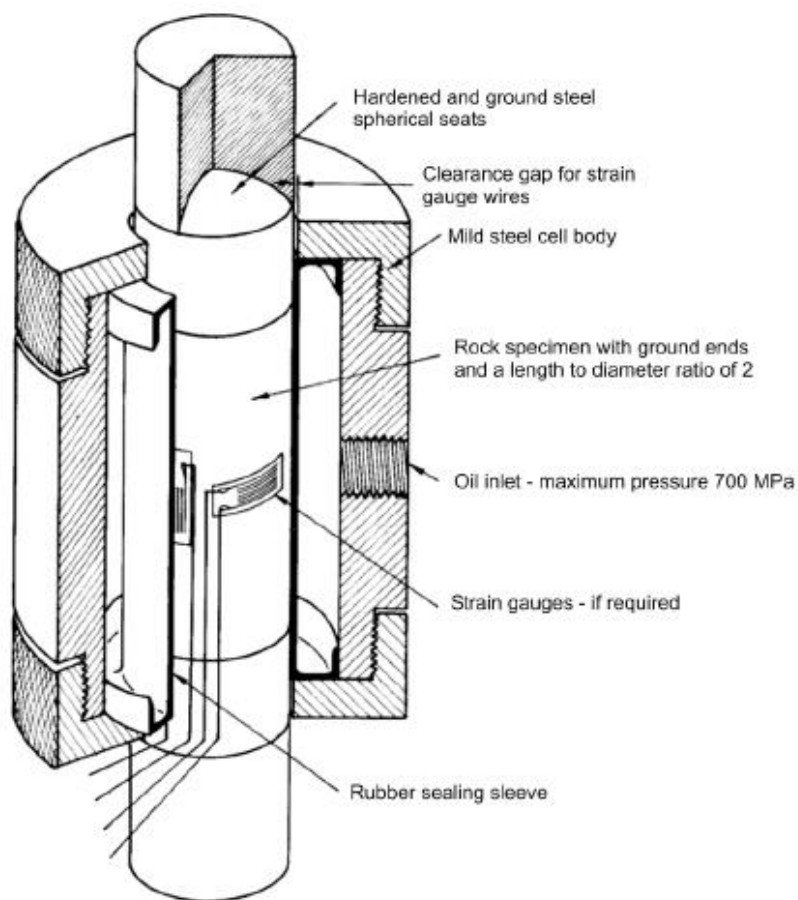
**Tabla 29      *Resumen de corte directo en rocas***

<b>Sondeo</b>	<b>Muestra / Profundidad (m)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Tipo de discontin</b>	<b>Cohesión (MPa)</b>	<b>Ángulo de fricción (°)</b>
P-VE(T2)- 16-01	M-3 64.60 – 65.60	6.03	Simulada	0.079	28.50
P-VE (T1)- 16-02	M-5 88.10 – 89.10	6.03	Simulada	0.065	28.40

#### **5.2.2.6      Ensayo de compresión triaxial**

Este ensayo consiste en la determinación de la resistencia de testigos de roca cilíndrica en condiciones no drenadas bajo cargas de compresión triaxial. Adicionalmente, esta prueba proporciona datos útiles para la determinar la resistencia y propiedades elásticas del testigo ensayado, tales como: resistencia al corte a diversas presiones laterales (lo cual estima la simulación de las condiciones de esfuerzo a la que se encuentra sometida in situ), ángulo de fricción interna, cohesión, constante  $m_i$  (valor dado en el criterio generalizado de Hoek & Brown) y módulo de Young. Cabe resaltar que el método otorga valores en términos de esfuerzos totales, es decir, no considera ni mide presiones de poro existentes durante el ensayo.

Respecto a la preparación de la muestra, se coloca el testigo con la membrana flexible ajustada sobre las platinas superior e inferior (ver Figura 18), para luego sellarlo con el líquido de contención, el cual ejercerá la  $\sigma_3$  o esfuerzo de confinamiento igual a  $\sigma_2$ ), para finalmente aplicar el esfuerzo desviador axial hasta la ruptura del testigo de roca ensayado.

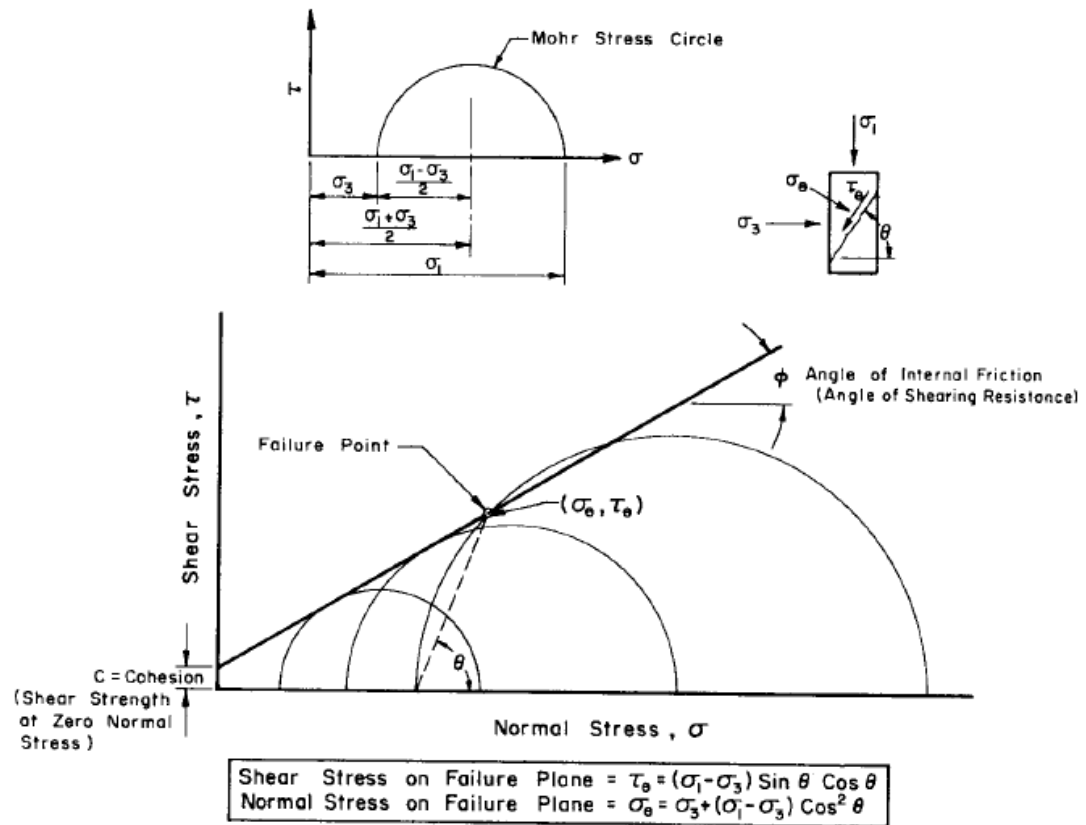


**Figura 18 Celda triaxial simple utilizada para analizar testigos de rocas en laboratorios de campo. La manga de sellado de goma está diseñada para retener el aceite de modo que la celda no necesite ser drenada entre pruebas. Las celdas están disponibles para acomodar una variedad de estándar tamaños de testigos.**

*Nota:* Tomado de Hoek et. al. (1995).

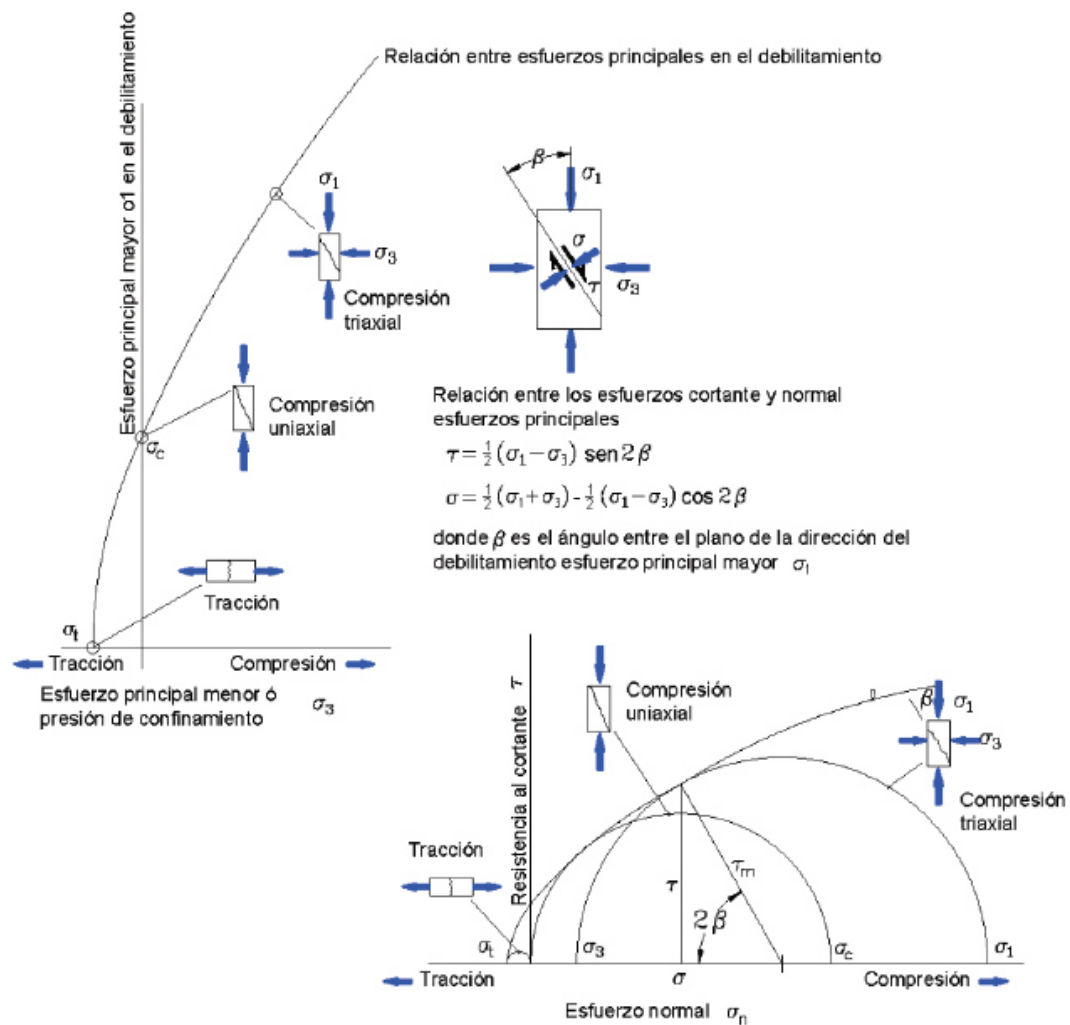
Respecto a las dimensiones de los especímenes, los tamaños deberán ser iguales a los mencionados en la prueba de UCS y ser, al menos, tres testigos bien ensayados para poder ajustarlos a las expresiones dadas por Mohr-Coulomb o Hoek & Brown (ver Figura 19 y Figura 20 con el apartado 2.4.1 respectivamente). Estos tres cilindros de roca deberán ser sometidos a diferente esfuerzo de confinamiento según solicite ingeniero a cargo. Cabe resaltar que es común que al aumentar el esfuerzo de confinamiento aumente la resistencia pico y la transición de un comportamiento frágil a dúctil con la

reducción de resistencia pico a residual respectivamente [Ernesto Villaescusa, 2004]



**Figura 19** Círculos típico de resistencia de Mohr-Coulomb

*Nota:* Tomado de la norma ASTM 2664 (1995).



**Figura 20 Envoltente de rotura del criterio de Hoek & Brown**

*Nota:* Tomado de OSINERGMIN (2017).

Las pruebas se efectuaron acorde a la norma ASTM D2664-95, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 30      *Resumen de compresión triaxial en rocas***

Sond eo	Mues tra prof. (m)	Dia m. (cm )	Alt (cm )	R.C.U, (MPa)	Consta nte “mi”	Cohesi ón (MPa)	Ang. de fricció n Int. (°)
P- VE(T2 ) -16- 01	M-5 71.00 72.80	6.03	12.1 1	22.56	11.66	6.05	39.11
		6.10	12.1 5				
		6.10	12.1 3				
P- VE(T2 ) -16- 02	M-6 94.10 95.35	6.06	12.2 9	12.49	12.26	4.10	35.85
		6.06	12.6 8				
		6.05	12.6 6				

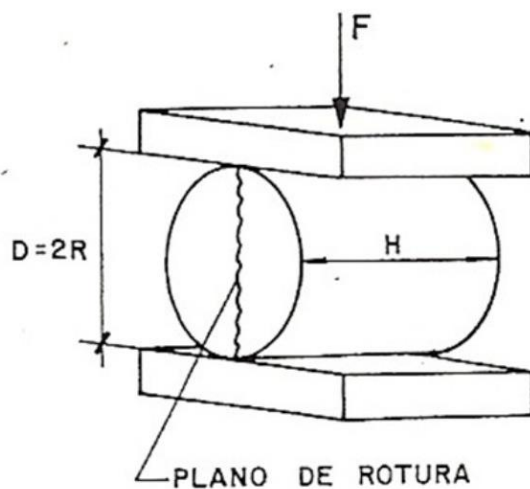
#### **5.2.2.7      Ensayo de tracción indirecta**

Este ensayo consistente en la determinación de la resistencia a la tracción uniaxial de manera indirecta en una probeta de roca, dada a través de la aplicación de una carga lineal de compresión diametral en un testigo de roca a través de dos placas hasta conseguir la rotura (ver Figura 21). La carga se aplica con un rango tal que se consiga la rotura de la roca en unos 15 a 30 segundos. Este ensayo también es conocido como ensayo brasilero. La resistencia a la tracción viene dada por la expresión:

$$\sigma_{ct} = \frac{2F}{\pi Ld}$$

Donde:

- $\sigma_{ct}$  = Resistencia a la tracción indirecta (MPa, N/mm<sup>2</sup>)
- F = Carga máxima (N)
- L = Longitud de la línea de contacto de la probeta (mm)
- D = Dimensión de la sección transversal (mm)



**Figura 21 Esquema de ensayo de tracción indirecta**

Las pruebas se ejecutaron acorde a la norma ASTM D3967-95, dando los siguientes resultados:

**Tabla 31 Resumen de ensayos de tracción indirecta en rocas**

Sondeo / Código	Muestra	Profundidad	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga (kN)	Resistencia a la tracción	Resistencia a la tracción
P-VE (T2)-16-	M-4	69.40 – 71.00	6.10	3.10	16.5	57	5.6
			6.10	3.09	17.7	61	6.0
			6.10	3.04	13.2	46	4.5
			Promedio			55	5.4
P-VE (T2)-16-	M-4	85.95 – 87.10	6.03	3.05	22.5	79	7.8
			6.03	3.03	18.1	64	6.3
			6.03	3.03	20.1	71	7.0
			Promedio			72	7.0

### 5.2.3 Ensayos químicos

Estos ensayos tienen como finalidad determinar la agresividad química del terreno a las estructuras proyectadas sobre las mismas y con ello evaluar el grado de ataque químico a la cual serán sometidas, es por estas razones por la cual se llevaron a cabo ensayos químicos en muestras de roca y suelo.

En las sucesivas tablas se resumen los resultados de los ensayos químicos ejecutados en las calicatas y perforaciones diamantinas realizadas:

**Tabla 32      *Resultados de ensayos químicos – calicatas***

Estación geomecánica	Muestra	Prof. (m)	Tipo	pH * (Unid pH)	Sulfatos ** (mg/kg)	SST (mg/kg)	Cloruros (mg/kg)
CE-30	M-1	> 2.00	Esquistomicrocristalino	8.7	< 28	132	9
CE-31	M-1	0.30 – 1.00	Esquistomicrocristalino	9.1	< 28	162	13

**Tabla 33      *Resultados de ensayos químicos – perforaciones***

Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Tipo	pH * (Unid pH)	Sulfatos ** (mg/kg)	SST (mg/kg)	Cloruros (mg/kg)
P-VE (T2)-16-01	M-2	62.20 – 63.80	Roca	9.6	42	156	20
P-VE (T2)-16-01	M-6	82.30 – 83.60	Roca	9.4	31	117	15
P-VE (T2)-16-01	M-7	99.30 – 101.60	Roca	8.8	<28	96	14
P-VE (T2)-16-02	M-2	61.20 – 62.20	Roca	9.3	<28	150	11
P-VE (T2)-16-02	M-7	97.25 – 98.00	Roca	9.2	<28	120	11

Abreviaturas:

mg/kg = miligramo/kilogramo = ppm

SST= Sales Solubles Totales

\*\* = El resultado corresponde al límite de cuantificación.

En la Tabla 34 se muestra los límites permisibles de la agresividad de los elementos y compuestos químicos sobre estructuras de concreto:

**Tabla 34** *Límites permisibles de agresividad de la roca al concreto*

Presencia en el suelo	P.P.M.	Grado de alteración	Observaciones
* Sulfatos	0 – 1000 1000 – 2000 2000 – 20000 > 20000	Despreciable Moderado Severo Muy Severo	Ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación
* Cloruros	> 6000	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos
* Sales Solubles Totales	> 15000	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problemas de lixiviación

*Nota:* \*Comité 318 – 83 ACI

Por lo tanto, de la tabla anterior, se observa que los parámetros están dentro de los rangos permisibles; por ende, se concluye que no habrá ataque químico de la roca al concreto a lo largo del túnel 2.

Así mismo, con los ítems que anteceden se demuestran las hipótesis específicas.



## 6. MODELO GEOMECÁNICO

### 6.1 Caracterización geomecánica

#### 6.1.1 Propiedades de la roca intacta

Las propiedades de la roca intacta se han determinado a través de pruebas de laboratorio sobre muestras representativas obtenidas de las estaciones geomecánicas superficiales y testigos de perforación ejecutados.

**Tabla 35** *Parámetros de resistencia mediante estaciones geomecánicas*

E. G.	Profundidad (m)	Tipo de roca	Resistencia a la compresión (MPa)	Densidad $\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )
EG-11A	Superficial	Esquisto micáceo	21	2.59
EG-11	Superficial	Esquisto micáceo	53	2.65
EG-12A	Superficial	Esquisto micáceo	56	2.69

**Tabla 36** *Parámetros de resistencia mediante perforaciones diamantinas*

Litología	Sondeo	Profundidad (m)	Resistencia a la compresión (MPa)	Densidad $\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Cohesión (MPa)	Ángulo de Fricción (°)	Módulo de Young "E" (GPa)	Relación de Poisson "v"
Esquisto	P-VE (T2)-16-01	31.90 - 33.20	42.8	2.72	-	-	-	-
Gneis	P-VE (T2)-16-01	62.20 - 63.80	45.6	2.90	-	-	-	-
		64.60 - 65.60	-	-	0.079	28.50	-	-
		69.40 - 71.00	-	-	-	-	-	-
		71.00 - 72.80	-	-	6.05	39.11	3.69	0.31
Esquisto	P-VE (T2)-	82.30 - 83.60	13.7	2.72	-	-	-	-

Litología	Sondeo	Profundidad (m)	Resistencia a la compresión (MPa)	Densidad $\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Cohesión (MPa)	Ángulo de Fricción (°)	Módulo de Young "E" (GPa)	Relación de Poisson "v"
	16-01							
Esquisto	P-VE (T2)-16-02	33.70 - 34.70	14.8	2.73	-	-	-	-
		61.20 - 62.20	30.7	2.71	-	-	-	-
		83.10 - 84.00	15.8	2.68	-	-	-	-
		85.95 - 87.10	-	-	-	-	-	-
		88.10 - 89.10	-	-	0.065	28.40	-	-
		94.10 - 95.35	-	-	4.10	35.85	4.73	0.29
		97.25 - 98.00	15.0	2.71	-	-	-	-

## 6.1.2 Valoración geomecánica

### 6.1.2.1 Valoración del macizo rocoso (RMR)

La valoración del macizo rocoso se realizó a través de las estaciones geomecánicas ejecutadas mediante el método de celdas, el cual evalúa el macizo rocoso de manera puntual; además, la segunda valoración se efectuó sobre los testigos de perforación diamantina a través de su longitud.

**Tabla 37** *Resumen de la valoración del macizo rocoso mediante estaciones geomecánicas*

Estación geomecánica	Progresiva	Litología	RMR ajustado	Tipo
EG-11A	5+720 – 5+740	Esquisto Micáceo	41	III
EG-11	5+770 – 5+790	Esquisto Micáceo	48	III
EG-12A	6+060 – 6+070	Esquisto Micáceo	37	IV

**Tabla 38**      **Resumen de la valoración del macizo rocoso en perforación diamantina**

Sondeo	Tramo de perforación	Ubicación	Litología	RMR ajustado	Tipo
P-VE(T2)-16-01 (Portal de Entrada)	0.00 – 40.00	5+675 – 5+720	Esquisto	44	III
P-VE(T2)-16-01	40.00 – 80.00	5+720 – 5+755	Esquisto/Gneiss	44	III
P-VE(T2)-16-01	80.00 – 95.00	5+755 – 5+770	Esquisto alterado	34	IV
P-VE(T2)-16-01	95.00 – 120.00	5+770 – 5+795	Esquisto extremadamente alterado	14	V
P-VE(T2)-16-02 (Portal de Salida)	0.00 – 15.00	6+030 – 6+045	Esquisto	38	IV
P-VE(T2)-16-02	15.00 – 30.00	6+000 – 6+030	Esquisto	38	IV
P-VE(T2)-16-02	30.00 – 38.00	6+000 – 5+992	Gneis	50	III
P-VE(T2)-16-02	38.00 – 70.00	5+992 – 5+960	Esquisto	39	IV
P-VE(T2)-16-02	70.00 – 100.00	5+960 – 5+990	Esquisto	49	III

En el Anexo D Evaluación geomecánica, se adjunta la tabla a detalle de la valoración del macizo rocoso obtenidas de las estaciones geomecánicas y perforaciones diamantinas ejecutadas.

#### **6.1.2.2 Valoración de Índice de Resistencia Geológica (GSI)**

Asimismo, la valoración del macizo rocoso mediante el GSI se realizó por tipos de roca y a través de los datos obtenidos de las estaciones geomecánicas ejecutadas mediante el método de celdas y perforaciones diamantinas.

**Tabla 39      *Resumen de valoración del macizo rocoso (GSI) mediante estaciones geomecánicas***

<b>Estación geomecánica</b>	<b>Progresiva (km)</b>	<b>Litología</b>	<b>RMR básico</b>	<b>RMR ajustado</b>	<b>RMR 89</b>	<b>G SI</b>	<b>Clase</b>
EG-11A (PE2)	5+670 - 5+720	Esquisto micáceo	46	41	46	41	III
EG-12A (PS2)	6+040 - 6+070	Esquisto micáceo	42	37	42	37	IV

**Tabla 40      *Resumen de valoración del macizo rocoso (GSI) mediante perforaciones diamantinas***

<b>Sond eo</b>	<b>Profundi dad (m)</b>	<b>Ubicac ión</b>	<b>Litología</b>	<b>RMR bási co</b>	<b>RMR ajust ado</b>	<b>RMR 89</b>	<b>G SI</b>	<b>Tipo</b>
P- VE(T2 ) -16- 01	0,00 - 40,00	5+675 – 5+715	Esquisto	46	44	51	46	III
P- VE(T2 ) -16- 01	40,00 - 80,00	5+715 – 5+755	Esquisto/Gneis	46	44	51	46	III
P- VE(T2 ) -16- 01	80,00 – 95,00	5+755 – 5+770	Esquisto alterado	36	34	41	36	IV
P- VE(T2 ) -16- 01	95,00 - 120,00	5+770 – 5+795	Esquisto extremadamente alterado	16	14	21	16	V
P- VE(T2 ) -16- 02	0,00 – 15,00	6+030 – 6+045	Esquisto	40	38	45	40	IV
P- VE(T2 ) -16- 02	15,00 – 30,00	6+000 – 6+030	Esquisto	40	38	45	40	IV
P- VE(T2 ) -16- 02	30,00 – 38,00	6+000 – 5+992	Gneis	52	50	57	52	III
P- VE(T2 ) -16- 02	38,00 – 70,00	5+992 – 5+960	Esquisto	41	39	46	41	IV
P- VE(T2 ) -16- 02	70,00– 100,00	5+960 – 5+990	Esquisto/Gneis	51	49	56	51	III

**Tabla 41      *Resumen final de la Valoración del macizo rocoso por RMR y GSI por tipo de roca (diseño)***

<b>Litología</b>	<b>RMR 89</b>	<b>GSI</b>	<b>Tipo</b>
Esquisto	41	40	III
Esquisto	25	25	IV
Esquisto	15	15	V
Gneis	41	40	III
Gneis	25	25	IV
Gneis	15	15	V

### 6.1.2.3      **Clasificación según Barton (Índice Q)**

De igual forma, se presentan las valoraciones del índice Q por tipos de roca en función de los datos obtenidos de las estaciones geomecánicas y perforaciones diamantinas realizadas.

**Tabla 42      *Valoración de índice Q en función - estación geomecánica***

<b>Estación geomecánica</b>	<b>Progresiva</b>	<b>Litología</b>	<b>GSI</b>	<b>Valoración del macizo rocoso (Q)</b>
EG-11A (PE2)	5+670 - 5+720	Esquisto micáceo	41	0.717
EG-12A (PS2)	6+040 - 6+070	Esquisto micáceo	37	0.459

**Tabla 43      *Valoración de índice Q en función - perforaciones diamantinas***

<b>Sondeo</b>	<b>Corrida de perforación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Litología</b>	<b>GSI</b>	<b>Valoración del macizo rocoso (Q)</b>
P-VE(T2)-16-01	0.00 – 40.00	5+675 – 5+715	Esquisto	46	1.249
P-VE(T2)-16-01	40.00 – 80.00	5+715 – 5+755	Esquisto/Gneis	46	1.249
P-VE(T2)-16-01	80.00 – 95.00	5+755 – 5+770	Esquisto alterado	36	0.411
P-VE(T2)-16-01	95.00 – 120.00	5+770 – 5+795	Esquisto extremadamente alterado	16	0.045
P-VE(T2)-16-02	0.00 – 15.00	6+030 – 6+045	Esquisto	40	0.641
P-VE(T2)-16-02	15.00 – 30.00	6+000 – 6+030	Esquisto	40	0.641

Sondeo	Corrida de perforación	Ubicación	Litología	GSI	Valoración del macizo rocoso (Q)
P-VE(T2)-16-02	30.00 – 38.00	6+000 – 5+992	Esquisto	52	2.432
P-VE(T2)-16-02	38.00 – 70.00	5+992 – 5+960	Esquisto	41	0.717
P-VE(T2)-16-02	70.00 – 100.00	5+960 – 5+990	Esquisto/Gneis	51	2.177

En resumen, los resultados finales asignados como valoración del macizo rocoso a ser utilizado para el diseño de sostenimiento son los definidos en la Tabla 44.

**Tabla 44** Valoración final de índice Q por tipo de roca

Litología	Clase	GSI	Valoración del macizo rocoso (Q)
Esquisto	III	40	0.641
Esquisto	IV	25	0.121
Esquisto	V	15	0.040
Gneis	III	40	0.641
Gneis	IV	25	0.121
Gneis	V	15	0.040

### 6.1.3 Parámetros de resistencia y deformación del macizo rocoso

De acuerdo con la litología identificada en los testigos de perforación a lo largo de la excavación proyectada y las referencias dadas en la Tabla 11, los valores de la constante  $m_i$  usados para el diseño de sostenimiento se muestran en la Tabla 45.

**Tabla 45** Valores asumidos de  $m_i$  (diseño)

Litología	$m_i$
Esquisto	10
Gneis	15.16

Además, para el factor de perturbación D, explicado en la Figura 3 y las condiciones de detonación esperadas durante y después de la excavación son las siguientes:

- Esquisto D = 0,0 – 0,2 – 0,4
- Gneiss D = 0,0 – 0,2 – 0,4

**Tabla 46      Resumen de parámetros de resistencia para el diseño de acuerdo con el Tipo de Roca**

Ubicación	Tipo de roca / Condición	$E_m$ (MPa)	Parámetros			Parámetros de resistencia cortante		$q_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )
			Hoek & Brown			$c_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_m$ (°)		
			$m_b$	$s$	$a$				
Túnel 2 roca tipo III	Esquisto / Máxima	5030	0.801	4.6 E-03	0.501	4.7	47.3	13.4	13.3
	Esquisto / Residual	2247	0.429	8 E-04	0.529	3.1	41.0	4.7	13.3
Túnel 2 roca tipo IV	Esquisto / Máxima	2371	0.525	1.3 E-03	0.531	2.6	38.9	11.5	6.7
	Esquisto / Residual	843	0.400	4 E-04	0.561	1.8	33.6	7.9	6.7
Túnel 2 roca tipo V	Esquisto / Máxima	1334	0.560	8 E-04	0.561	1.4	32.7	4.3	3.0
	Esquisto / Residual	239	0.328	1 E-04	0.666	0.5	22.2	1.7	3.0
Túnel 2 roca tipo III	Gneis / Máxima	4705	0.842	4.6 E-03	0.511	4.0	48.0	23.1	11.7
	Gneis / Residual	2646	0.539	1.3 E-03	0.522	3.0	43.8	17.7	11.7
Túnel 2 roca tipo IV	Gneis / Máxima	1677	0.625	1.3 E-03	0.531	2.5	42.9	14.8	8.3
	Gneis / Residual	943	0.420	4 E-04	0.561	1.7	37.4	10.2	8.3
Túnel 2 roca tipo V	Gneis / Máxima	667	0.589	8 E-08	0.561	1.0	39.9	6.1	4.2
	Gneis / Residual	375	0.412	3 E-04	0.619	0.6	32.5	3.6	4.2

Donde:

- $E_m$ : módulo de elasticidad del macizo rocoso;



- $m_b, s$  y  $a$  : constantes del macizo rocoso;
- $c_m$  : cohesión del macizo rocoso;
- $\phi_m$  : ángulo de fricción del macizo rocoso;
- $q_a$  : capacidad admisible del macizo rocoso;
- $\tau$  : adherencia con el concreto.

En el Anexo E Parámetros geotécnicos, se adjunta los parámetros de resistencia y valores del módulo de elasticidad estimados para cada estación geomecánica, según Hoek Brown.

#### 6.1.3.1 Parámetros de resistencia obtenidos del laboratorio

Los parámetros de resistencia obtenidos del laboratorio han sido determinados mediante ensayos de cote directo en las discontinuidades presentes en las muestras seleccionadas. Estas muestras han sido recolectadas para los tipos de roca hallados a lo largo del túnel 2.

**Tabla 47** *Resumen de parámetros de resistencia de laboratorio*

Litología	Sondeo	Profundidad (m)	Laboratorio			Asumidos		
			C (MPa)	$\Phi$ (°)	mi	C (MPa)	$\Phi$ (°)	mi
Gneis	P-VE (T2)-16-01	64.60 – 63.80	0.079	28.50	11.66	4.10	35.9	13.16
		71.00 – 72.80	6.05	39.11				
Esquisto	P-VE (T2)-16-02	88.10 – 89.10	0.065	28.40	12.26	6.05	39.1	10
		94.10 – 95.35	4.10	35.85				

## 6.2 Modelo geomecánico

El modelo geomecánico se encuentra definido sobre la base de las investigaciones geológicas – geotécnicas y caracterización geomecánica, lo cual conlleva al cálculo de parámetros de resistencia del macizo rocoso (ver

plano 18-GT-SM-T2-04) para ser utilizados en el diseño de sostenimiento (ver plano 18-GT-SM-T2-05).

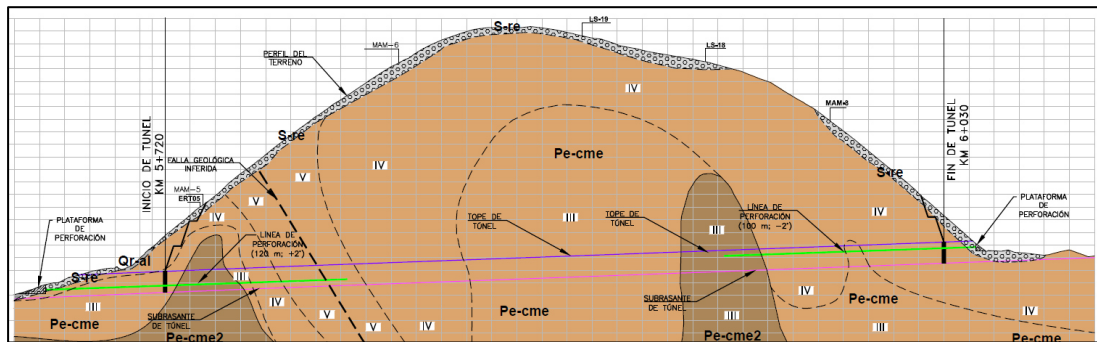
- En el tramo km 5+720 al km 5+755 se tiene un macizo rocoso metamórfico de esquisto fracturado con valores de RQD de 50 y un RMR ajustado de 44, el cual ha sido asignado como calidad del macizo rocoso de tipo III.
- En el tramo km 5+755 al km 5+770 se tiene un macizo rocoso metamórfico de esquisto alterado, fracturada con valores de RQD de 16 y un valor de RMR ajustado de 34, al cual le corresponde una calidad del macizo rocoso de tipo IV.
- En el tramo km 5+770 al km 5+800 se tiene un macizo rocoso metamórfico de esquisto extremadamente alterado, con valores de RQD de 0, un RMR ajustado de 14, para los cuales se define calidad del macizo rocoso tipo V. Se infiere como zona de falla o intensamente fracturada.
- En el tramo km 5+800 al km 5+845 se tiene un macizo rocoso metamórfico de esquisto alterado y fracturado con valores de RQD 16, un RMR ajustado de 34, para los cuales se define la calidad del macizo rocoso tipo IV.
- En el tramo km 5+845 al km 5+960 se tiene un macizo rocoso metamórfico de esquisto en contacto con gneis ligeramente fracturado con valores de RQD 77, un RMR ajustado de 49, para los cuales se define la calidad del macizo rocoso tipo III.
- En el tramo km 5+960 al km 5+990 se tiene un macizo rocoso metamórfico de esquisto, se hallan fracturados con valores de RQD 51, un RMR ajustado de 39, para los cuales se define la calidad del macizo rocoso tipo IV.
- En el tramo km 5+990 al km 6+000 se tiene un macizo rocoso metamórfico de gneis fracturado y meteorizado con valores de RQD 68, un RMR ajustado de 50, para los cuales se define la calidad del macizo rocoso tipo III.

- En el tramo km 6+000 al km 6+030 se tiene un macizo rocoso metamórfico de esquisto fracturado con valores de RQD 44, un RMR ajustado de 38, para los cuales se define la calidad del macizo rocoso tipo IV.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de la zonificación geomecánica del túnel 2:

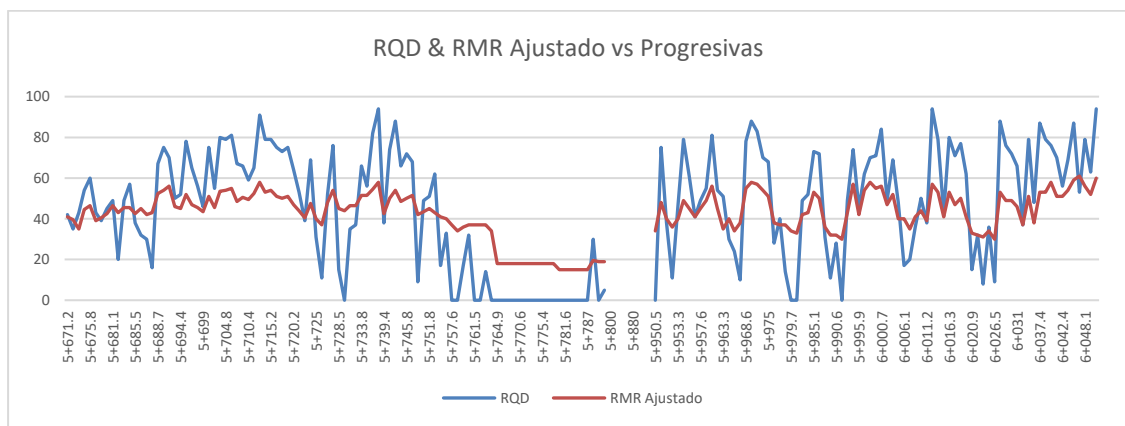
**Tabla 48      *Resumen de zonificación geomecánica***

<b>Tramo</b>	<b>Índice RQD</b>	<b>Índice RMR ajustado</b>	<b>Calidad del macizo rocoso</b>	<b>Litología</b>
5+675 – 5+720 (portal de entrada)	57	44	III	Esquisto
5+720 – 5+755	50	44	III	Esquisto / Gneis
5+755 – 5+770	16	34	IV	Esquisto alterado
5+770 – 5+800	0	14	V	Esquisto extremadamente alterado
5+800 – 5+845	16	34	IV	Esquisto alterado
5+845 – 5+960	77	49	III	Esquisto / Gneis
5+960 – 5+990	51	39	IV	Esquisto
5+990 – 6+000	68	50	III	Gneis
6+000 – 6+030	44	38	IV	Esquisto
6+030 – 6+045 (portal de salida)	46	38	IV	Esquisto

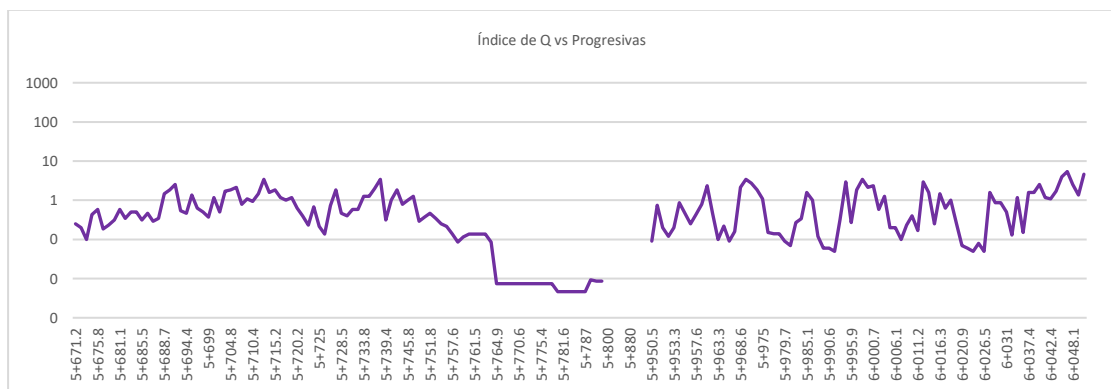


**Figura 22 Sección del modelo geomecánico**

Por otro lado, en la Figura 23 y Figura 24 se grafica la variación de la valoración del macizo rocoso en base a las clasificaciones geomecánicas y en función de las progresivas del túnel, la misma que ha sido definido a partir de los registros de perforación en el portal de entrada y salida.



**Figura 23 RQD y RMR ajustado vs progresiva**



**Figura 24 Índice de Q vs progresivas**

En la Figura 24, se distingue en la primera perforación (portal de ingreso) presenta roca tipo III con valores de RMR de 41, con una longitud aproximada de 10 metros, luego presenta un tramo tipo III con valores de RMR entre 42 – 52 y al final de perforación presenta un tramo de roca tipo IV y V con RMR de 31 y 15 respectivamente; para la segunda perforación (portal de salida), presenta un tramo de 10 m de roca tipo IV con RMR de 35, luego presenta un tramo de roca tipo III con RMR de 41, luego un tramo de roca tipo IV con RMR entre 35 – 38, y al final de la perforación presenta un sector de roca tipo III con RMR entre 45 – 50.

Así mismo, con el modelo geotécnico queda demostrada la hipótesis general de la presente tesis y se cumplen con los objetivos siguiendo la metodología dada.

A continuación, se resume la zonificación geomecánica final del túnel 2 proyectado:

**Tabla 49**      **Resumen de valoración RMR y índice Q para el diseño de sostenimiento**

Tipo de roca	III		III		IV		V		IV		III		IV		III		IV		IV			
Litología	Esquisto		Esquisto/ Gneis		Esquisto alterado		Esquisto extremadamente alterado.		Esquisto alterado		Esquisto/ Gneis		Esquisto		Gneis		Esquisto		Esquisto			
Progresivas	5+6 75	5+7 20	5+7 20	5+7 55	5+7 55	5+7 70	5+770	5+800	5+8 00	5+8 45	5+8 45	5+9 60	5+9 60	5+9 90	5+9 90	6+0 00	6+0 00	6+0 30	6+0 30	6+0 45		
	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin		
Índice RQD %	57 %		50 %		16 %		0 %		16 %		77 %		51 %		68 %		44 %		46 %			
RMR ajustado	44		44		34		14		34		49		39		50		38		38			
RMR 89 (diseño)	41		41		25		15		25		41		25		41		25		25			
Índice Q (diseño)	0.641		0.641		0.121		0.040		0.121		0.641		0.121		0.641		0.121		0.121			
Estructura	Portal de ingreso		Túnel																		Portal de salida	

## 7. CONCLUSIONES

- Geológicamente el túnel 2 se emplaza sobre rocas que van desde el Neo - proterozoico hasta el Cuaternario, atravesando el complejo del Maraón y depósitos cuaternarios; además, se pudieron identificar rocas intrusivas como diques de tonalitas y granodioritas. Localmente, el túnel se emplazará en rocas metamórficas, como esquistos micáceos, esquistos areniscosos y gneis, pertenecientes al complejo del Maraón. Ver plano 18-GT-SM-T2-01 y 18-GT-SM-T2-02.
- De los resultados de las investigaciones y evaluación geomecánica realizada en el túnel 2 proyectado, se llevó a cabo la caracterización del macizo rocoso la cual se resume en los siguientes cuadros:

### Resumen de valoración del macizo rocoso (RMR) - Estaciones geomecánicas

Estación geomecánica	Progresiva (km)	Litología	RMR básico	RMR ajustado	RMR89	GSI	Tipo
EG-11A (PE2)	5+670 - 5+720	Esquisto micáceo	46	41	46	41	III
EG-12A (PS2)	6+040 - 6+070	Esquisto micáceo	42	37	42	37	IV

### Resumen de valoración del macizo rocoso (RMR) - Perforaciones diamantinas

Sondeo	Prof. (m)	Ubicación	Litología	RMR básico	RMR ajustado	RMR 89	GSI	Tipo
P-VE(T2)-16-01	0.00 -40.00	5+675 – 5+715	Esquisto	46	44	51	46	III
P-VE(T2)-16-01	40.00 - 80.00	5+715 – 5+755	Esquisto/ Gneis	46	44	51	46	III
P-VE(T2)-16-01	80.00 – 95.00	5+755 – 5+770	Esquisto alterado	36	34	41	36	IV
P-VE(T2)-16-01	95.00 -120.00	5+770 – 5+795	Esquisto extremadamente alterado	16	14	21	16	V
P-VE(T2)-16-02	0.00 – 15.00	6+030 – 6+045	Esquisto	40	38	45	40	IV
P-VE(T2)-16-02	15.00 – 30.00	6+000 – 6+030	Esquisto	40	38	45	40	IV
P-VE(T2)-16-02	30.00 – 38.00	6+000 – 5+992	Gneis	52	50	57	52	III
P-VE(T2)-16-02	38.00 – 70.00	5+992 – 5+960	Esquisto	41	39	46	41	IV

Sondeo	Prof. (m)	Ubicación	Litología	RMR básico	RMR ajustado	RMR 89	GSI	Tipo
P-VE(T2)-16-02	70.00–100.00	5+960 – 5+990	Esquisto/ Gneis	51	49	56	51	III

- Acorde a los resultados de las investigaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio se ha definido un modelo geomecánico, tal como se resume en el cuadro siguiente:

### Resumen de zonificación geomecánica

Progresivas	Índice RQD	Índice RMR ajustado	Calidad del macizo rocoso	Litología
5+675 – 5+715 (Portal de entrada)	57	44	III	Esquisto
5+715 – 5+755	50	44	III	Esquisto / Gneis
5+755 – 5+770	16	34	IV	Esquisto alterado
5+770 – 5+800	0	14	V	Esquisto extremadamente alterado
5+800 – 5+845	16	34	IV	Esquisto alterado
5+845 – 5+960	77	49	III	Esquisto / Gneis
5+960 – 5+990	51	39	IV	Esquisto
5+990 – 6+000	68	50	III	Gneis
6+000 – 6+030	44	38	IV	Esquisto
6+030 – 6+045 (Portal de salida)	46	38	IV	Esquisto

- Finalmente, para el análisis geomecánico del macizo rocoso y diseño de sostenimiento se estimaron los siguientes parámetros de resistencia:



## Resumen de parámetros geotécnicos del túnel 2 (diseño)

Ubicación	Tipo de roca / Condición	$E_m$ (MPa)	Parámetros			Parámetros de resistencia al corte		$q_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )
			Hoek & Brown			$c_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_m$ (°)		
			$m_b$	$S$	$a$				
Roca tipo III	Esquisto / Máxima	5030	0.801	4.6 E-03	0.501	4.7	47.3	13.4	13.3
	Esquisto / Residual	2247	0.429	8 E-04	0.529	3.1	41.0	4.7	13.3
Roca tipo IV	Esquisto / Máxima	2371	0.525	1.3 E-03	0.531	2.6	38.9	11.5	6.7
	Esquisto / Residual	843	0.400	4 E-04	0.561	1.8	33.6	7.9	6.7
Roca tipo V	Esquisto / Máxima	1334	0.560	8 E-04	0.561	1.4	32.7	4.3	3.0
	Esquisto / Residual	239	0.328	1 E-04	0.666	0.5	22.2	1.7	3.0
Roca tipo III	Gneis / Máxima	4705	0.842	4.6 E-03	0.511	4.0	48.0	23.1	11.7
	Gneis / Residual	2646	0.539	1.3 E-03	0.522	3.0	43.8	17.7	11.7
Roca tipo IV	Gneis / Máxima	1677	0.625	1.3 E-03	0.531	2.5	42.9	14.8	8.3
	Gneis / Residual	943	0.420	4 E-04	0.561	1.7	37.4	10.2	8.3
Roca tipo V	Gneis / Máxima	667	0.589	8 E-08	0.561	1.0	39.9	6.1	4.2
	Gneis / Residual	375	0.412	3 E-04	0.619	0.6	32.5	3.6	4.2

## 8. RECOMENDACIONES

Al lector y empresas geotécnicas interesadas en la presente tesis:

- Para el portal de entrada y salida del túnel se recomienda la instalación de un sistema de pre-soporte, el cual es un sistema eventual que deberá ser confirmado y evaluado en campo.
- Se recomienda llevar a cabo un ensayo de carga *insitu* antes de iniciar el proceso de excavación del túnel, para la determinación de los esfuerzos en condiciones iniciales del macizo rocoso.
- Se recomienda que la construcción del túnel sea por el sistema convencional.
- Se recomienda el empleo de shotcrete durante el proceso constructivo con al menos un espesor de 10 cm.
- El uso del shotcrete debe ser ejecutado bajo supervisión, con operadores con experiencia, sobre una superficie limpia y ligeramente húmeda y con un lanzado perpendicular a la cara de avance. Adicionalmente, se recomienda el uso de fibras de acero en el shotcrete.
- En cuanto a la voladura, se recomienda un pre-corte para evitar la perturbación del macizo rocoso y así tener una sección limpia, evitando el desprendimiento de bloques de roca.
- En el plano 18-GT-SM-T2-05 se presenta los parámetros de resistencia finales, acompañado de las recomendaciones de sostenimiento de diseño por progresivas a lo largo del eje del túnel 2.
- Se recomienda ampliar el número de investigaciones llevadas a cabo, así como también, emplear los resultados de los mismos en otras expresiones matemáticas que puedan contribuir a la precisión y reducir la incertidumbre de los parámetros geomecánicos obtenidos en este documento.
- Finalmente, esta tesis puede ser empleada como referencia para estudios geotécnicos cercanos a la zona de proyecto.

## REFERENCIAS

- Austrian Society for Geomechanics (2010). *Guideline for the Geotechnical Design of Underground Structures with Conventional Excavation*. Salzburg: Austrian Society for Geomechanics.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. New York: Wiley.
- Carlos Gamarra (2009). *Nuevas fuentes sismogénicas para la evaluación del peligro sísmico y generación de espectros de peligro uniforme en el Perú*. Lima: UNI.
- Cornell (1968). *Engineering Seismic Risk Analysis*. USA: Bulletin of the Seismological Society of America.
- Dalmayrac, Bernard (1986). *Estudio Geológico de la Cordillera Oriental – Región Huánuco*. Perú: INGEMMET.
- Duncan C. Wyllie, Christopher W. Mah (2004). *Rock Slope Engineering Civil and Mining 4th Edition*. New York: Spon Press.
- E. Hoek (2007). *Practical Rock Engineering*. British Columbia: <http://rocscience.com>.
- E. Hoek, P.K. Kaiser, W.F. Bawden (1995). *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. Netherlands: A. A Balkema.
- Ernesto Villaescusa (2014). *Geotechnical Design for Sublevel Open Stopping*. New York: CRC Press.
- Ever Hoek (1993). *Practical Rock Engineering*, North Vancouver: Evert Hoek Consulting Engineer Inc.
- González de Vallejo, Luis. (2004). *Ingeniería Geológica*, Madrid: Pearson Educación.
- Grandin, George (1980). *Estudio Petrográfico de la Serie Precambriana y de las Rocas Ígneas asociadas en el área de Huancapallac*. Perú: Sociedad Geológica del Perú.
- Hoek et al. (2002). *Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition*. Canadá: NARMS-TAC Conference.

Janiszewski et. Al. (2018). *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. China: Elsevier.

John Milsom. (1989). *Field Geophysics: The Geological Field Guide Series*. Inglaterra: Wiley,

Office de la recherche scientifique et technique outre-mer, organisme aujourd'hui remplacé par l'IRD e Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (1977). *Evidencias de una cadena pre-ordoviciana y probablemente pre-cámbrico, en la Cordillera Oriental del Perú Central (Región de Huánuco)*. Lima: Servicio de Geología y Minería, Ministerio de Energía y Minas.

P. W. McDowell. (2002). *Geophysics in engineering investigations*. Londres: CIRIA.

Palmstrom, A. (2005). Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). Tunnels and Underground Space Technology 20: Sandvika.

Pedro Ramírez y Leandro Alejano (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. España.

USACE. (2001). *Geotechnical Investigations*

**ANEXOS**

ANEXO A  
PANEL  
FOTOGRAFICO





**Fotografía 1** Perforación en el portal de entrada del túnel 2.



**Fotografía 2** Cajas de perforaciones del portal de entrada del túnel 2.





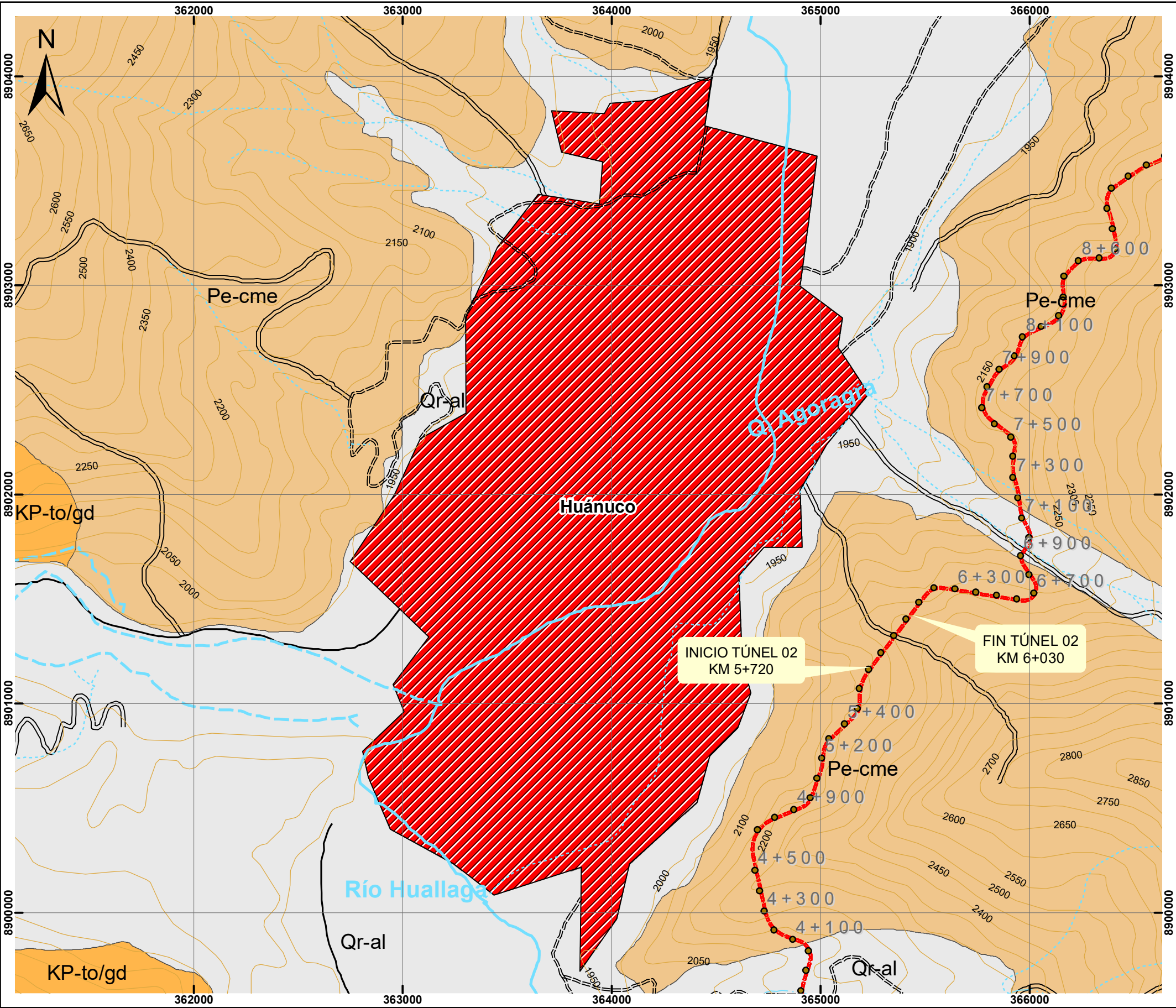
**Fotografía 3**

Parte superior del encampe del túnel 2.



# ANEXO B

## PLANOS



**LEYENDA**

Geología Regional

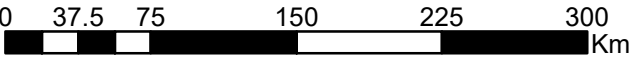
Qr-al	Cuaternario Holoceno Aluvial
KP-to/gd	Rocas Intrusivas Tonalita - Granodiorita
Pe-cme	Complejo Metamórfico Esquisto


**SIMBOLOGÍA**

—	Curvas de Nivel
—	Vía de Evitamiento
—	Rio principal
—	Rio secundario
—	Quebrada
—	Quebrada seca una parte del año
—	Carretera afirmada,transitable
—	Camino de herradura
—	Camino carrozable
—	Ciudad de Huánuco

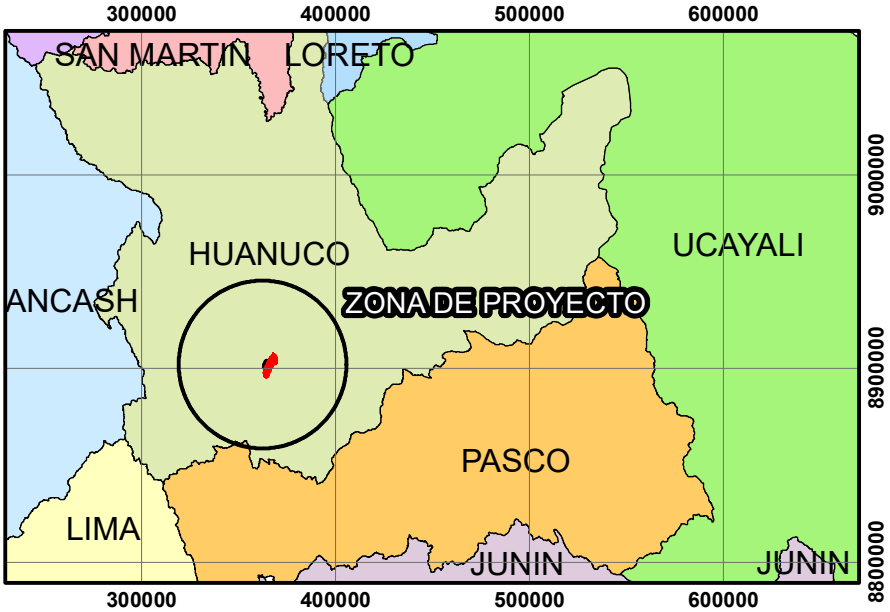
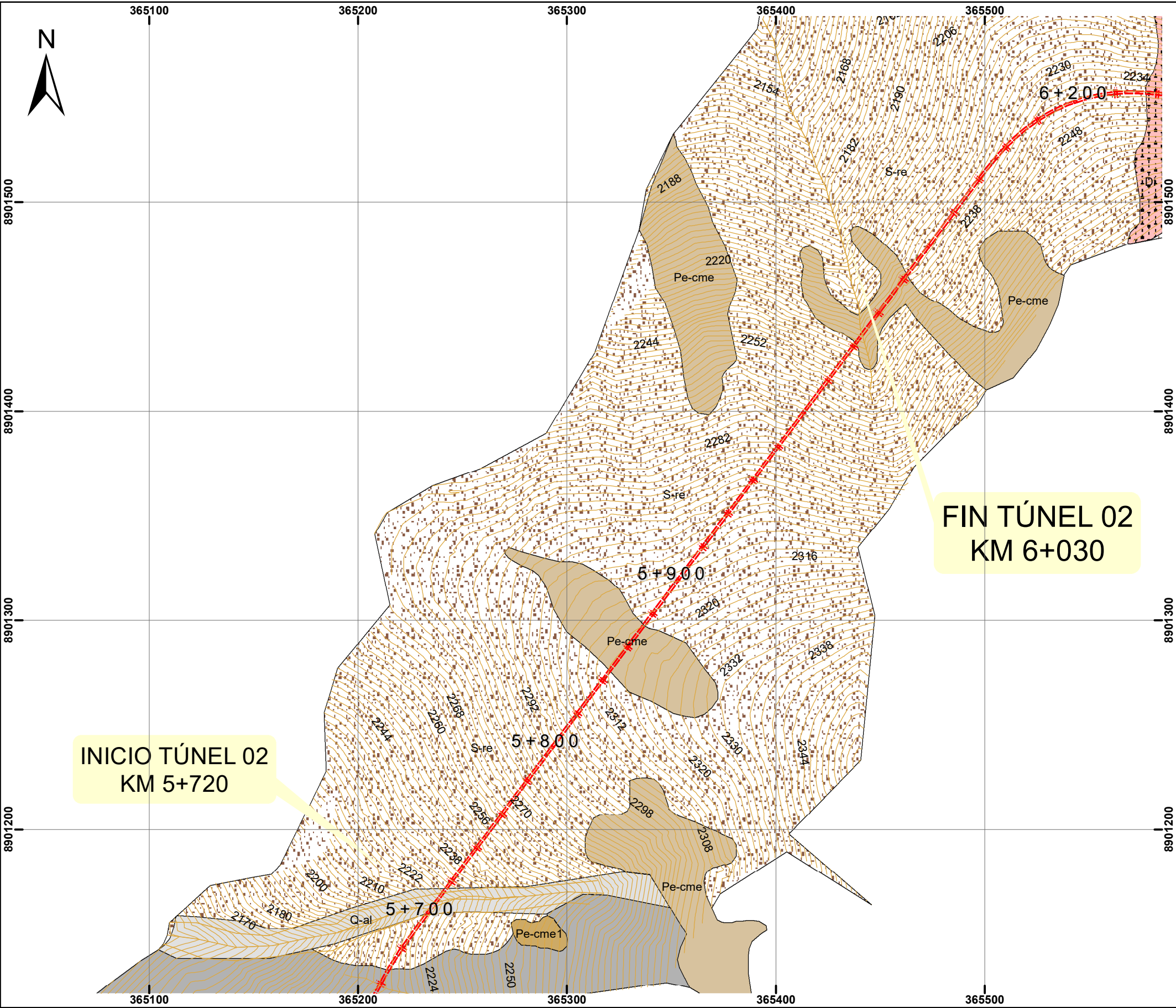
**NOTA:**

1. LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-3
2. USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN EL PLANO
3. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM WGS-84, ZONA 18 SUR
4. FUENTE CARTOGRÁFICA: CARTAS DIGITALES 1:100 000 IGN
5. FUENTE GEOLÓGICA: CARTAS DIGITALES 1:100 000 INGEMMET



 <div>UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA E.A.P. INGENIERÍA GEOLÓGICA</div>	TESISTA: Eloy Martín Adrián Castillo Bezada	TESIS: "Estudio Geotécnico para el diseño del Túnel Dos de la Vía de Evitamiento - Huánuco"	PLANO: Geología Regional	ESCALA: 1:20,000
	ASESOR: Dr. Tomás Gallarday Bocanegra		UBICACIÓN: Tramo II - Vía de Evitamiento	FECHA: Diciembre, 2019
				CÓDIGO: 18-GT-SM-T2-01





### LEYENDA

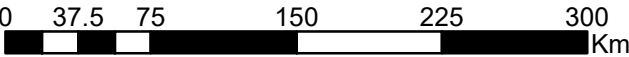
Q-al	Cuaternario reciente - Depósito Aluvial
Qr-co	Cuaternario reciente - Depósito Coluvial
S-re	Suelo Residual
Di	Diorita
Pe-cme	Neoproterozoico - Complejo Maraón Esquisto
Pe-cme1	Neoproterozoico - Complejo Maraón Gneis


### SIMBOLOGÍA

—	Curvas de Nivel
==	Eje Projectado

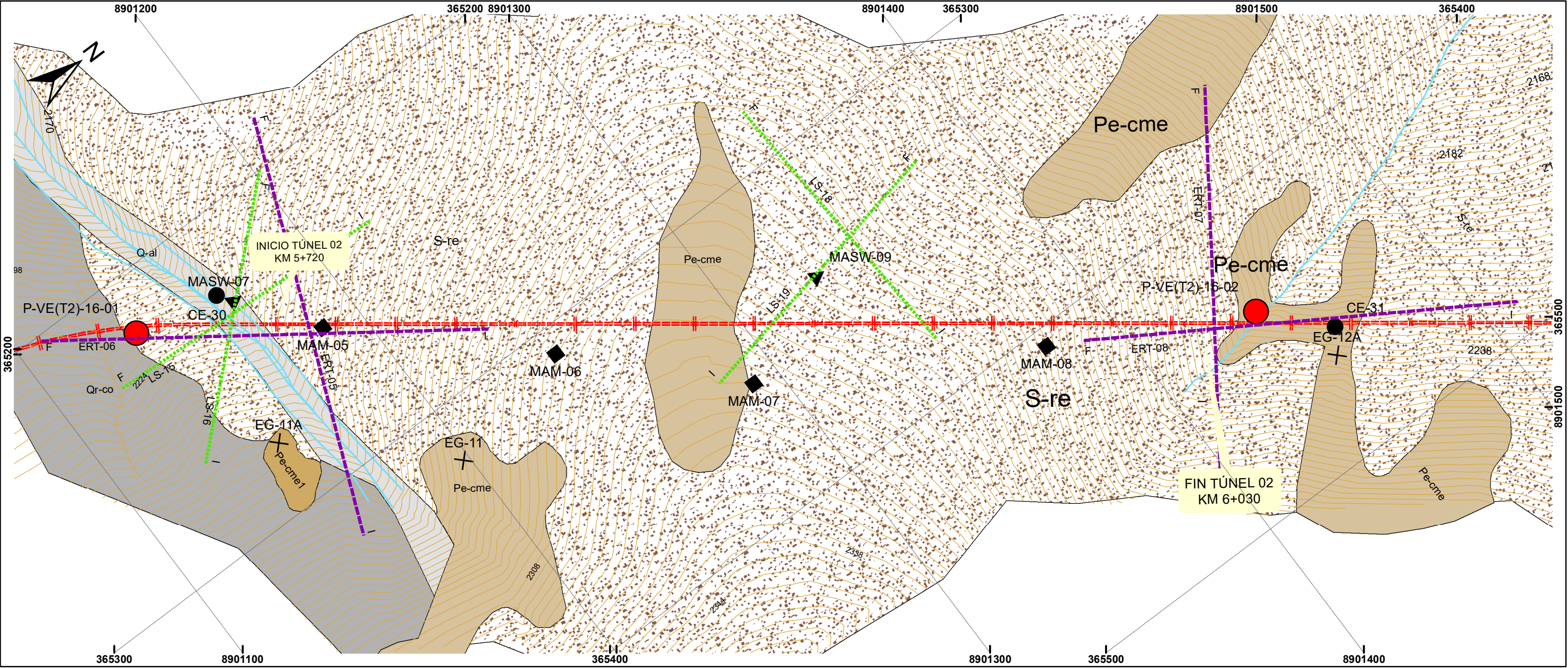
**NOTA:**

1. LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-3
2. USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN EL PLANO
3. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM WGS-84, ZONA 18 SUR
4. FUENTE CARTOGRAFICA: CARTAS DIGITALES 1:100 000 IGN
5. FUENTE GEOLOGICA: CARTAS DIGITALES 1:100 000 INGEMMET



	UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA E.A.P. INGENIERÍA GEOLÓGICA	TESISTA: Eloy Martín Adrián Castillo Bezada	TESIS: "Estudio Geotécnico para el diseño del Túnel Dos de la Vía Evitamiento - Huánuco"	PLANO: Geología Local	ESCALA: 1:2,000
		ASESOR: Dr. Tomás Gallarday Bocanegra		UBICACIÓN: Tramo II - Vía de Evitamiento	FECHA: Diciembre, 2019
					CÓDIGO: 18-GT-SM-T2-02





SIMBOLOGÍA

- Líneas sísmicas
- Tomografía eléctrica
- Perforaciones
- MASW
- Calicatas y DPL
- MAM
- Estaciones geomecánicas

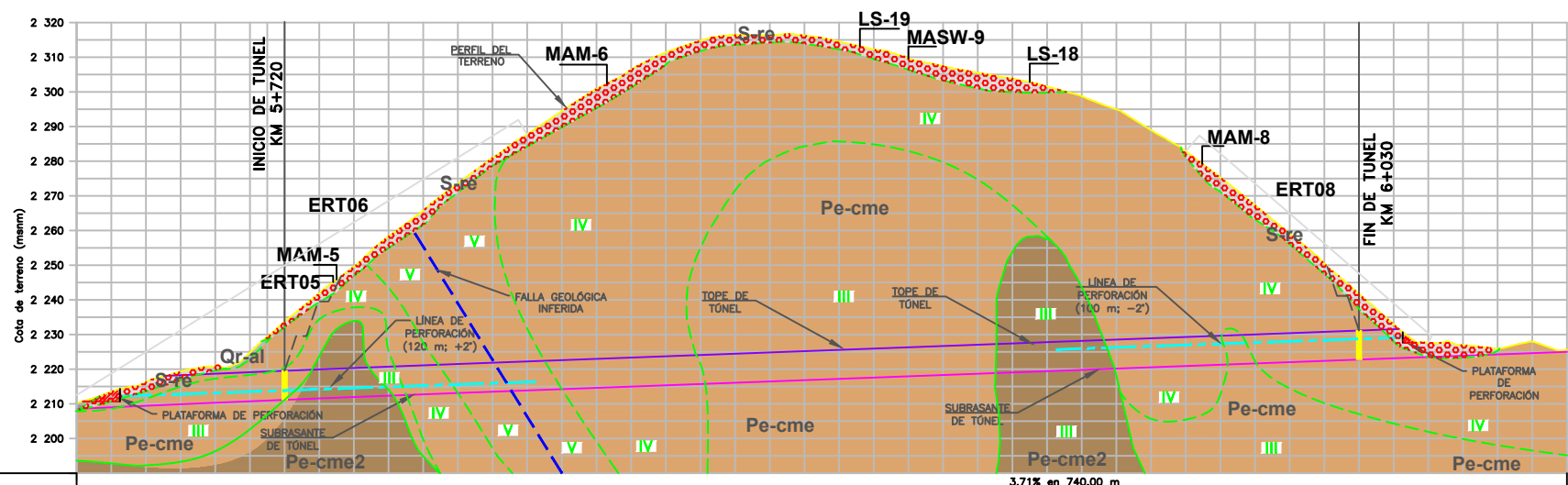
LEYENDA

- Cuaternario reciente - Depósito Aluvial
- Cuaternario reciente - Depósito Coluvial
- Suelo Residual
- Diorita
- Neoproterozoico - Complejo Maraión Esquisto
- Neoproterozoico - Complejo Maraión Gneis

- NOTA:
- 1. LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-3
  - 2. USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN EL PLANO
  - 3. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM WGS-84, ZONA 18 SUR
  - 4. FUENTE CARTOGRÁFICA: CARTAS DIGITALES 1:100 000 IGN
  - 5. FUENTE GEOLÓGICA: CARTAS DIGITALES 1:100 000 INGEMMET

	UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA E.A.P. INGENIERÍA GEOLÓGICA	TESISTA: Eloy Martín Adrián Castillo Bezada	TESIS: "Estudio Geotécnico para el diseño del Túnel Dos de la Vía Evitamiento - Huánuco"	PLANO: Investigaciones Geotécnicas	ESCALA: 1:1,300
		ASESOR: Dr. Tomás Gallardar Bocanegra		UBICACIÓN: Tramo II - Vía de Evitamiento	FECHA: Diciembre, 2019
					CÓDIGO: 18-GT-SM-T2-03





PARAMETROS TOPOGRAFICOS	PENDIENTES	3.71% en 740.0 m																																										
	COTA SUBRASANTE	2209.01	2209.46	2209.89	2210.33	2210.75	2211.16	2211.57	2211.97	2212.36	2212.75	2213.12	2213.49	2213.86	2214.23	2214.61	2214.98	2215.35	2215.72	2216.09	2216.46	2216.83	2217.20	2217.57	2217.95	2218.32	2218.69	2219.06	2219.43	2219.80	2220.17	2220.54	2220.91	2221.29	2221.66	2222.03	2222.40	2222.77	2223.14	2223.51	2223.88	2224.25	2224.63	2225.00
	COTA TERRENO	2213.46	2216.21	2219.33	2220.82	2224.78	2233.75	2241.81	2249.43	2258.31	2265.79	2273.60	2281.00	2287.72	2294.46	2300.83	2306.48	2311.39	2314.76	2316.39	2316.35	2316.33	2314.46	2312.24	2309.63	2307.45	2305.55	2303.96	2301.57	2298.75	2294.95	2288.94	2282.92	2275.31	2267.34	2259.11	2250.63	2241.82	2232.95	2227.67	2226.90	2225.93	2228.04	2225.66
	KILOMETRAJE	5 + 700				5 + 800				5 + 900				6 + 000																														
GEOLOGIA	INVESTIGACIONES EXPLORATORIAS	P-VE(T2)-16-01 EG-11A										P-VE(T2)-16-02 EG-12A																																
	LITOLOGIA	ESQUISTO		ESQUISTO/GNEISS		ESQUISTO				ESQUISTO/GNEISS				ESQUISTO																														
PARAMETROS GEOMECANICOS	INDICE RQD (%)	57%		50%		16%	0%	16%		77%				51%	68%	44%	46%																											
	CLASIFICACIONRMR (BIENIAWSKI)	III		III		IV	V	IV		III				IV	III	IV	IV																											
	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO (RMR AJUSTADO)	44		44		34	14	34		49				39	50	38	38																											
	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO (RMR 89) PARA DISEÑO DE SOSTENIMIENTO	41		41		25	15	25		41				25	41	25	25																											
	ESTRUCTURA	PORTAL DE INGRESO		TÚNEL														PORTAL DE SALIDA																										

PERFIL LONGITUDINAL TÚNEL DOS Km 5+720- 6+030  
ESCALA 1:1 000

COORDENADAS DE PERFORACIONES		
PUNTO	ESTE	NORTE
P-VE(T2)-16-01	365 219	8 901 136
P-VE(T2)-16-02	365 439	8 901 440

PERFORACIONES	
P-VE(T2)-16-01	PERFORACIÓN DIAMANTINA PORTAL DE ENTRADA
P-VE(T2)-16-02	PERFORACIÓN DIAMANTINA PORTAL DE SALIDA

LEYENDA	
	CUATERNARIO RECIENTE, DEPÓSITO ALUVIAL
	CUATERNARIO RECIENTE, DEPÓSITO COLUVIAL
	SUELO RESIDUAL
	NEO-PROTEROZOICO COMPLEJO MARAÑÓN ESQUISTO
	NEO-PROTEROZOICO COMPLEJO MARAÑÓN GNEIS

SIMBOLOGÍA	
	CURVA MAYOR
	CURVA SECUNDARIA
	QUEBRADA
	PERFIL DE TERRENO
	EJE Y SUBRASANTE PROYECTADA
	TOPE DE TÚNEL
	LÍNEA DE PERFORACIÓN
	ESTRATO INFERIDO
	VISTA EN PLANTA DE TÚNEL
	PLATAFORMA DE PERFORACIÓN
	FLUJO DE QUEBRADA
	LÍNEA SÍSMICA
	LÍNEA DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA
	MASW
	MAM
	CALICATA
	ESTACIÓN GEOMECÁNICA

NOTA :  
1.- LA ESCALA INDICADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE  
2.- COORDENADAS TOPOGRÁFICAS DATUM WGS-84, ZONA 18 SUR



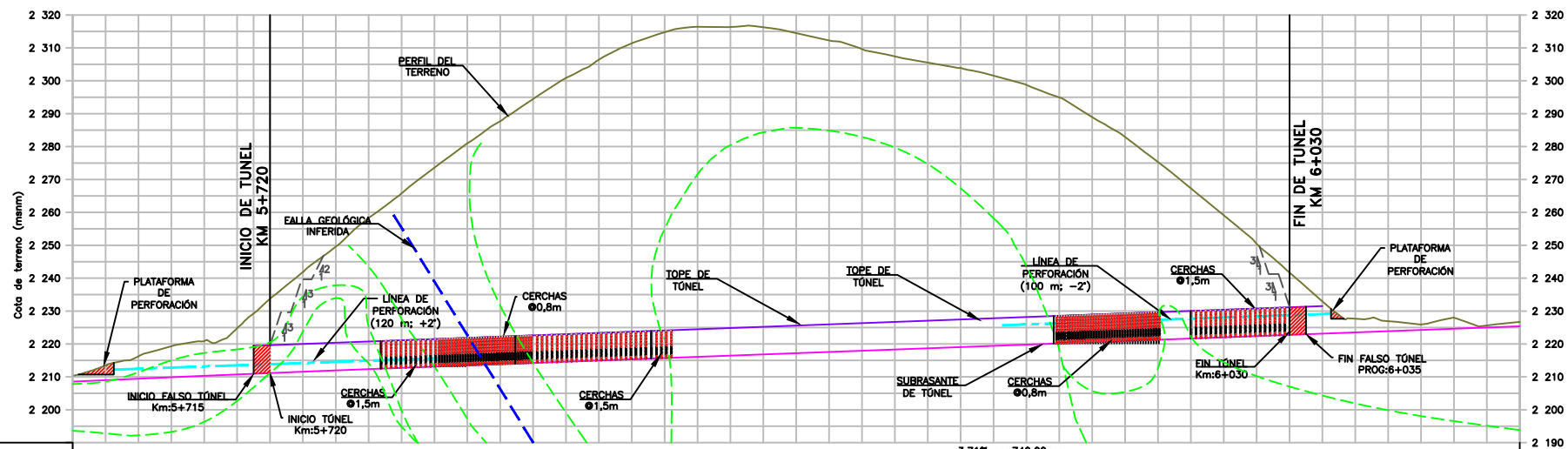
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA  
E.A.P. INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESISTA:  
ELOY MARTÍN ADRIÁN CASTILLO BEZADA  
ASESOR:  
DR. TOMÁS GALLARDAY BOCANEGRA

TESIS:  
"ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL  
DOS DE LA VÍA DE EVITAMIENTO - HUÁNUCO"



PLANO:  
PERFIL GEOLÓGICO GEOTÉCNICO  
UBICACIÓN:  
TRAMO II - VÍA DE EVITAMIENTO

ESCALA:  
1 : 1 000  
FECHA:  
DICIEMBRE, 2019  
CÓDIGO:  
18-GT-SM-T2-04








PENDIENTES	3.71% en 740.00 m																				2	190																							
COTA SUBRASANTE	2209.01	2209.46	2209.89	2210.33	2210.75	2211.16	2211.57	2211.97	2212.36	2212.75	2213.12	2213.49	2213.86	2214.23	2214.61	2214.98	2215.35	2215.72	2216.09	2216.46	2216.83	2217.20	2217.57	2217.95	2218.32	2218.69	2219.06	2219.43	2219.80	2220.17	2220.54	2220.91	2221.29	2221.66	2222.03	2222.40	2222.77	2223.14	2223.51	2223.88	2224.25	2224.63	2225.00	2225.37	
COTA TERRENO	2213.46	2216.21	2219.33	2220.82	2224.78	2233.75	2241.81	2249.43	2258.31	2265.79	2273.60	2281.00	2287.72	2294.46	2300.83	2306.48	2311.39	2314.76	2316.39	2316.35	2316.33	2316.33	2314.46	2312.24	2309.63	2307.45	2305.55	2303.96	2301.57	2298.75	2294.95	2288.94	2282.92	2275.31	2267.34	2259.11	2250.63	2241.82	2232.95	2227.07	2226.89	2225.93	2228.04	2225.66	2226.08
KILOMETRAJE	5 + 700								5 + 800								5 + 900								GNEISS				6 + 000								6 + 100								
INVESTIGACIONES EXPLORATORIAS	P-VE(T2)-16-01 EG-11A																				P-VE(T2)-16-02 EG-12A																								
LITOLOGÍA	ESQUISTO				ESQUISTO/GNEISS				ESQUISTO								ESQUISTO/GNEISS								ESQUISTO																				
SOSTENIMIENTO DE DISEÑO	SHOTCRETE 10cm PERNOS DE 4m Ø2m				SHOTCRETE 15cm PERNOS DE 4m Ø1,3m CIMBRAS METÁLICAS Ø1,5m				SHOTCRETE 20cm PERNOS DE 4m Ø1,0m CIMBRAS METÁLICAS Ø0,8m								SHOTCRETE 10cm PERNOS DE 4m Ø2m				SHOTCRETE 20cm PERNOS DE 4m Ø1,0m CIMBRAS METÁLICAS Ø0,8m				SHOTCRETE 15cm PERNOS DE 4m Ø1,3m CIMBRAS METÁLICAS Ø1,5m																				
	PORTAL DE ENTRADA		FALSO TÚNEL										TÚNEL												FALSO TÚNEL		PORTAL DE SALIDA																		
PARAMETROS DE RESISTENCIA	(r)= 26,0 kN/m <sup>3</sup> (v)= 0,3 (q)= 13,4 Kg/cm <sup>2</sup> (E)= 5030 Mpa (T)= 13,3 Kg/cm <sup>2</sup> (σ)= 80,0 Mpa (Ø)= 47,3 (C)= 4,70 Kg/cm <sup>2</sup>				(r)= 25,0 kN/m <sup>3</sup> (v)= 0,3 (q)= 11,5 Kg/cm <sup>2</sup> (E)= 2371 Mpa (T)= 6,7 Kg/cm <sup>2</sup> (σ)= 40 Mpa (Ø)= 38,9 (C)= 2,6 Kg/cm <sup>2</sup>				(r)= 24,0 kN/m <sup>3</sup> (v)= 0,3 (q)= 4,3 Kg/cm <sup>2</sup> (E)= 13341 Mpa (T)= 3,0 Kg/cm <sup>2</sup> (σ)= 18 Mpa (Ø)= 32,7 (C)= 1,4 Kg/cm <sup>2</sup>				(r)= 25,0 kN/m <sup>3</sup> (v)= 0,3 (q)= 13,4 Kg/cm <sup>2</sup> (E)= 2371 Mpa (T)= 6,7 Kg/cm <sup>2</sup> (σ)= 40 Mpa (Ø)= 38,9 (C)= 2,6 Kg/cm <sup>2</sup>				(r)= 26,0 kN/m <sup>3</sup> (v)= 0,3 (q)= 13,4 Kg/cm <sup>2</sup> (E)= 5030 Mpa (T)= 13,3 Kg/cm <sup>2</sup> (σ)= 80,0 Mpa (Ø)= 47,3 (C)= 4,70 Kg/cm <sup>2</sup>				(r)= 26,0 kN/m <sup>3</sup> (v)= 0,29 (q)= 23,1 Kg/cm <sup>2</sup> (E)= 4705 Mpa (T)= 11,7 Kg/cm <sup>2</sup> (σ)= 70 Mpa (Ø)= 48,0 (C)= 4,0 Kg/cm <sup>2</sup>				(r)= 26,0 kN/m <sup>3</sup> (v)= 0,3 (q)= 13,4 Kg/cm <sup>2</sup> (E)= 5030 Mpa (T)= 13,3 Kg/cm <sup>2</sup> (σ)= 80,0 Mpa (Ø)= 47,3 (C)= 4,70 Kg/cm <sup>2</sup>				(r)= 25,0 kN/m <sup>3</sup> (v)= 0,3 (q)= 11,5 Kg/cm <sup>2</sup> (E)= 2371 Mpa (T)= 6,7 Kg/cm <sup>2</sup> (σ)= 40 Mpa (Ø)= 38,9 (C)= 2,6 Kg/cm <sup>2</sup>																













COORDENADAS DE PERFORACIONES		
PUNTO	ESTE	NORTE
P-VE(T2)-16-01	365 219	8 901 136
P-VE(T2)-16-02	365 439	8 901 440

PERFORACIONES	
 P-VE(T2)-16-01	PERFORACIÓN DIAMANTINA PORTAL DE ENTRADA
 P-VE(T2)-16-02	PERFORACIÓN DIAMANTINA PORTAL DE SALIDA

DONDE:

- PESO ESPECÍFICO (τ)
- POISSON (ν)
- MÓDULO DE ELASTICIDAD (E)
- ESFUERZO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL (σ)
- CAPACIDAD ADMISIBLE (q)
- COEFICIENTE DE BALASTO (Kv)
- ADHERENCIA AL CONCRETO (T)
- ÁNGULO DE FRICCIÓN (Ø)
- COHESIÓN (C)

LEYENDA	
	CUATERNARIO RECIENTE, DEPÓSITO ALUVIAL
	CUATERNARIO RECIENTE, DEPÓSITO COLUVIAL
	SUELO RESIDUAL
	NEO-PROTEROZOICO COMPLEJO MARAÑON ESQUISTO
	NEO-PROTEROZOICO COMPLEJO MARAÑON GNEIS

SIMBOLOGÍA	
	CURVA MAYOR
	CURVA SECUNDARIA
	QUEBRADA
	PERFIL DE TERRENO
	EJE Y SUBRASANTE PROYECTADA
	TOPE DE TÚNEL
	LÍNEA DE PERFORACIÓN
	ESTRATO INFERIDO
	VISTA EN PLANTA DE TÚNEL
	PLATAFORMA DE PERFORACIÓN
	FLUJO DE QUEBRADA
	LÍNEA SÍSMICA
	LÍNEA DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA
	MASW
	MAM
	CALICATA
	ESTACIÓN GEOMECÁNICA

NOTA :

- LA ESCALA INDICADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
- COORDENADAS TOPOGRÁFICAS DATUM WGS-84, ZONA 18 SUR



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA  
E.A.P. INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESISTA:  
ELOY MARTÍN ADRIÁN CASTILLO BEZADA  
ASESOR:  
DR. TOMÁS GALLARDAY BOCANEGRA

TESIS:  
"ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL  
DOS DE LA VÍA DE EVITAMIENTO - HUÁNUCO"

PLANO: PARÁMETROS GEOTÉCNICOS  
UBICACIÓN: TRAMO II - VÍA DE EVITAMIENTO

ESCALA: 1 : 1 000  
FECHA: DICIEMBRE, 2019  
CÓDIGO: 18-GT-SM-T2-05

# ANEXO C

# EXPLORACIÓN DE

# CAMPO

C.1 ENSAYOS GEOFÍSICOS

C.2 REGISTRO DE CALICATAS

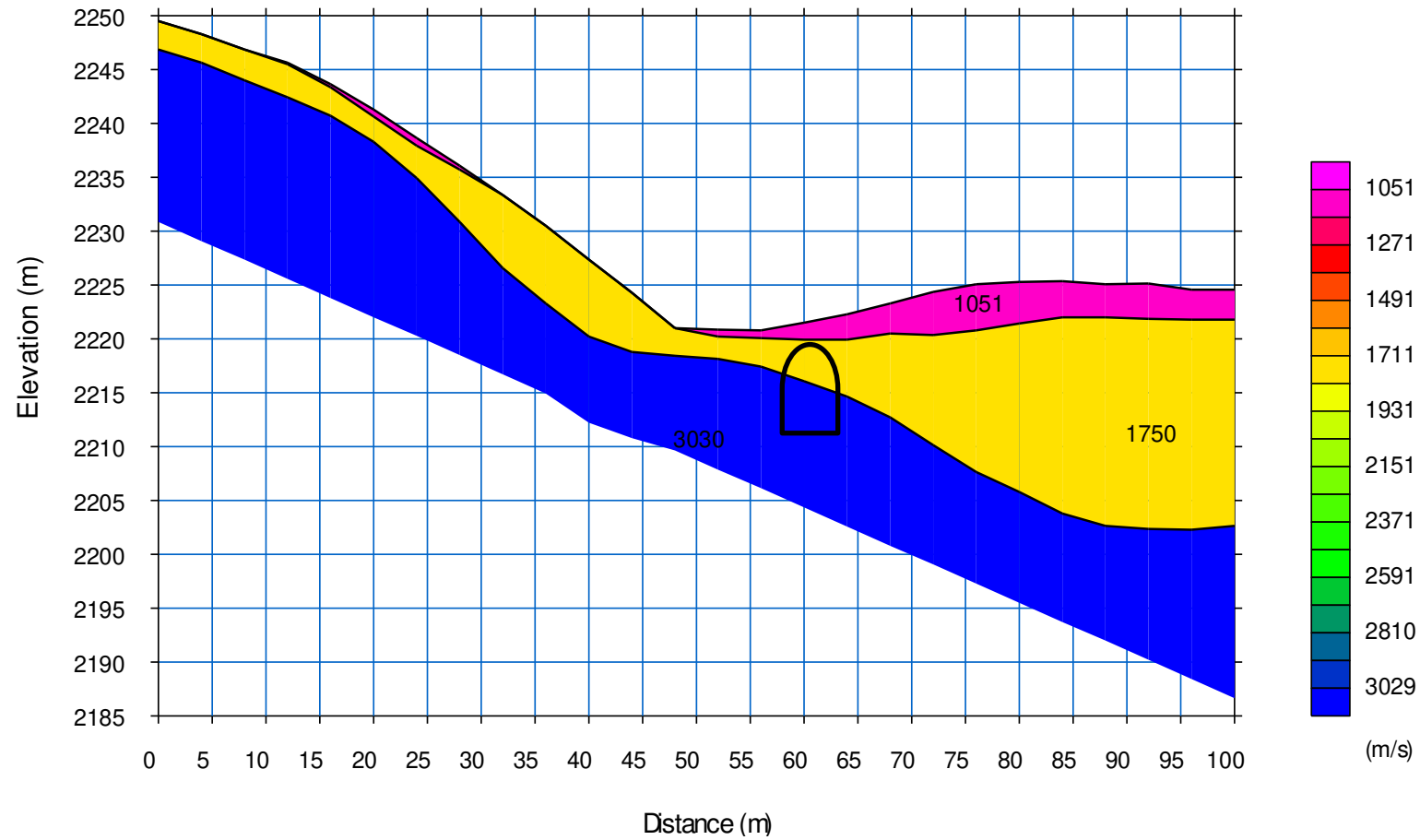
C.3 ENSAYOS DPL

C.4 ESTACIONES GEOMECÁNICAS

C.5 PERFORACIONES DIAMANTINAS

# Portal de entrada túnel 2 (km 5+720 perpendicular al eje del túnel)

## Perfil sísmico - Línea LS-15



Elaborado por: CESEL S.A.C.



ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ARREGLOS MULTICANAL

MASW-9

**Tesis** : "Estudio geotécnico para el diseño del túnel 2 de la vía Evitamiento ciudad de Huánuco"

**Modelo de equipo** : SmartSeis - 24 canales

**Longitud de la línea** : 66 m

**Elaborado por:** CESEL S.A.C.

**Coordenadas** : WGS 84

**Datum** : UTM

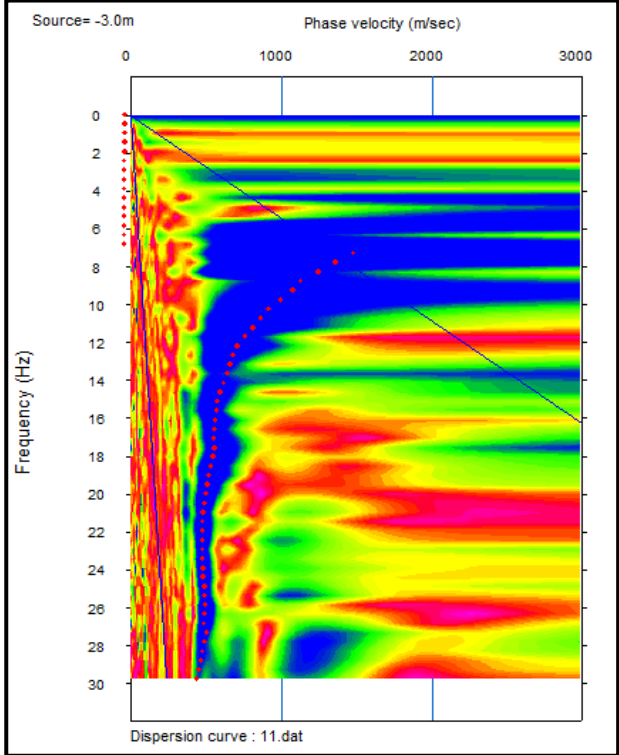
**Zona - Banda** : 19-S

**Este** : 365 341

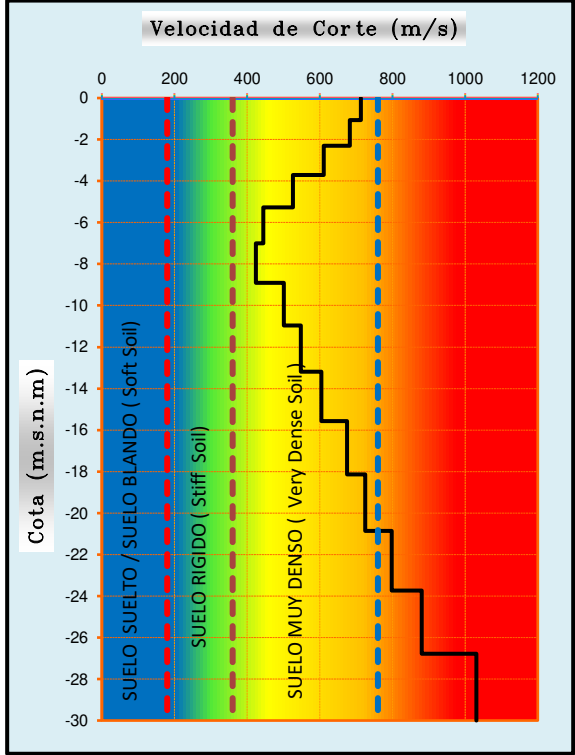
**Norte** : 8 901 330

**Progresiva** : km 5+885  
(salida túnel 2)

Curva de Dispersión



Perfil Unidimensional



Cuadro Resumen

Cota(m.s.n.m)	Vs(m/s)	Rigidez
-1.07	713.00	
-2.31	683.00	
-3.71	611.00	
-5.28	526.00	
-7.01	444.00	
-8.90	424.00	
-10.96	501.00	
-13.19	548.00	
-15.58	604.00	
-18.13	675.00	
-20.85	725.00	
-23.74	798.00	
-26.79	881.00	
-30.00	1031.00	

Símbolo	Tipo de suelo - Ref - R.Dobry
	Suelo Suelto / Suelo blando
	Suelo rígido
	Suelo muy denso o roca blanda
	Suelo muy rígido / Roca

Clasificación Sísmica AASHTO - 2012

Tipo de Suelo	denominación del suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30(m/s)*	Resistencia a la penetración Estandar SPT (N)*
A	Roca muy dura	Vs > 1500	N / A
B	Roca	760 < Vs < 1500	N / A
C	Suelo muy denso	360 < Vs < 760	N > 50
D	Suelo rígido	180 < Vs < 360	15 ≤ N ≤ 50
E	Suelo Blando	Vs < 180	N < 15

Vs30(m/s)\*; Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

N\*; Numero de golpes

Vs 30(m/s)	641
Tipo de Suelo	C

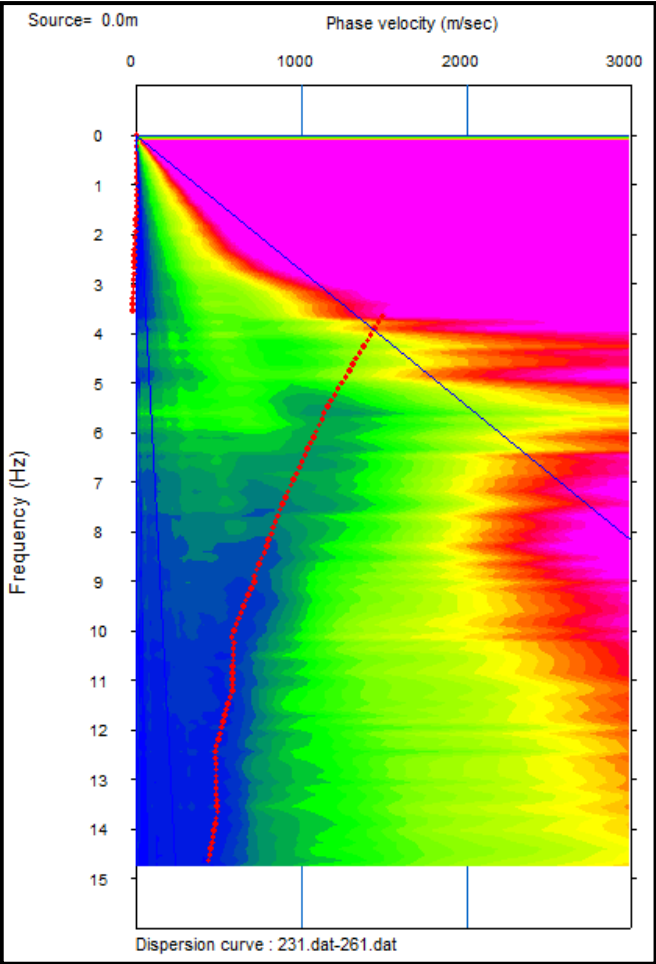
Ts*	0.19	S1
suelo muy rígido		

Ts\*;Periodo fundamental del suelo

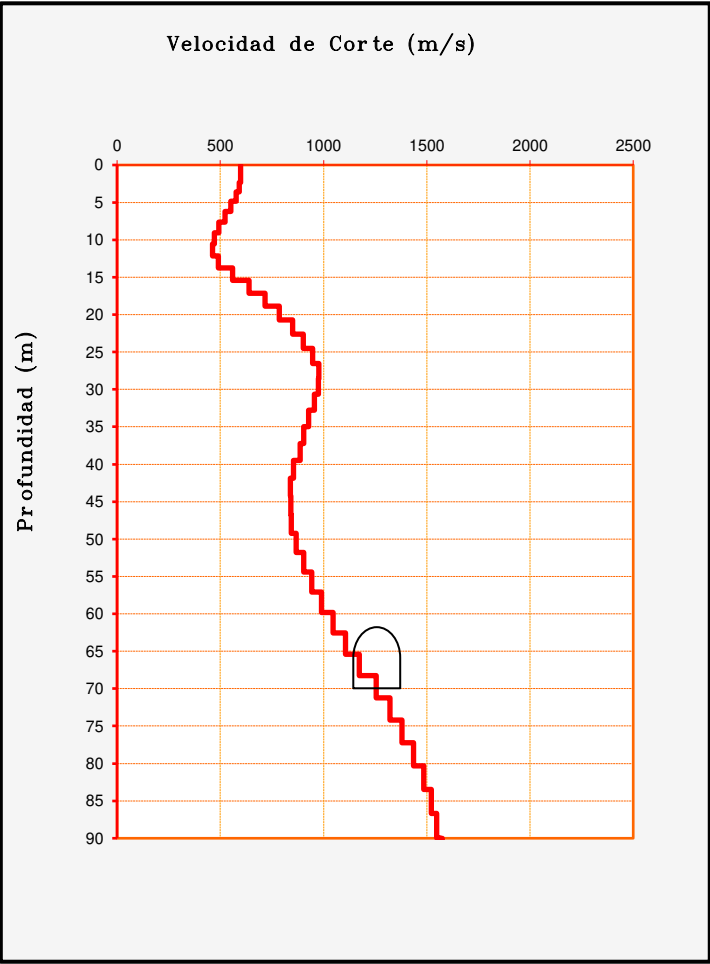
MAM - 8

TESIS : “Estudio geotécnico para el diseño del túnel 2 de la vía Evitamiento – ciudad de Huánuco”  
UBICACIÓN : Túnel 2 Portal de salida  
COORDENADAS : 365 406 E - 8 901 377 N  
ELABORADO POR : CESEL S.A.C.

Curva de Dispersión



Perfil Unidimensional



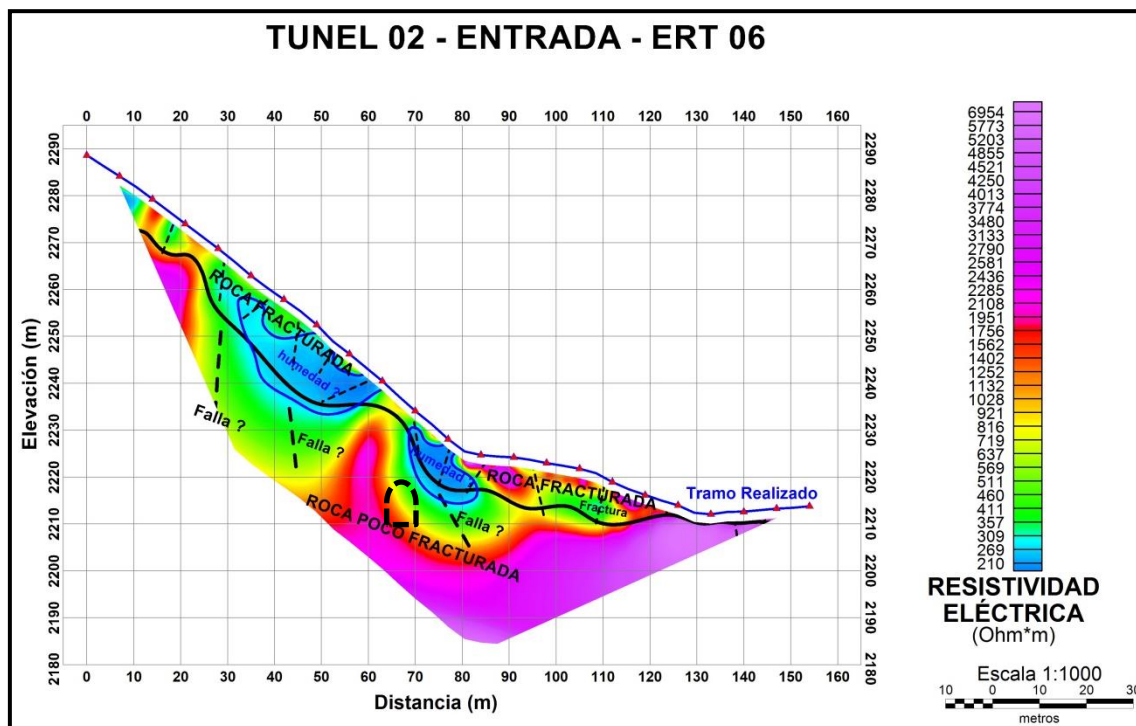
TIPO DE SUELO	NOMBRE DE SUELO	PROPIEDADES PROMEDIO EN LOS 30 PRIMEROS METROS.	
		Velocidad de onda de corte, $\bar{V}_s$ (m/s)	Resistencia a la penetración estándar, $\bar{N}$
A	Roca muy dura	$\bar{V}_s > 1,500$	N/A
B	Roca	$760 < \bar{V}_s \leq 1,500$	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < \bar{V}_s \leq 760$	$\bar{N} > 50$
D	Suelo rígido	$180 \leq \bar{V}_s \leq 360$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$
E	Suelo blando	$\bar{V}_s < 180$	$\bar{N} < 15$

IBC 2012	
$V_{s30} =$	604
TIPO DE SUELO	C
SUELO MUY DENSO O ROCA BLANDA	

Prof. (m)	Vs (m/s)
0.0	597.5
1.1	598.3
2.3	592.6
3.6	576.9
4.9	552.0
6.2	522.7
7.6	493.2
9.1	471.2
10.6	462.4
12.1	489.9
13.7	560.4
15.4	638.7
17.1	717.1
18.9	785.5
20.7	850.5
22.6	902.9
24.5	947.7
26.5	978.1
28.5	976.0
30.6	956.0
32.8	927.7
35.0	904.3
37.2	885.9
39.5	853.8
41.9	839.5
44.3	841.7
46.7	843.4
49.2	868.2
51.8	905.0
54.4	942.7
57.1	990.7
59.8	1046.3
62.6	1107.2
65.4	1172.3
68.3	1254.4
71.2	1322.5
74.2	1380.7
77.2	1435.6
80.3	1486.3
83.5	1522.6
86.7	1547.0
89.9	1564.8
93.2	1574.6
96.6	1575.0
90.0	1575.0

## Línea ERT 06 – Km 05+700 (dirección al eje)

Elaborado por: CESEL S.A.C.

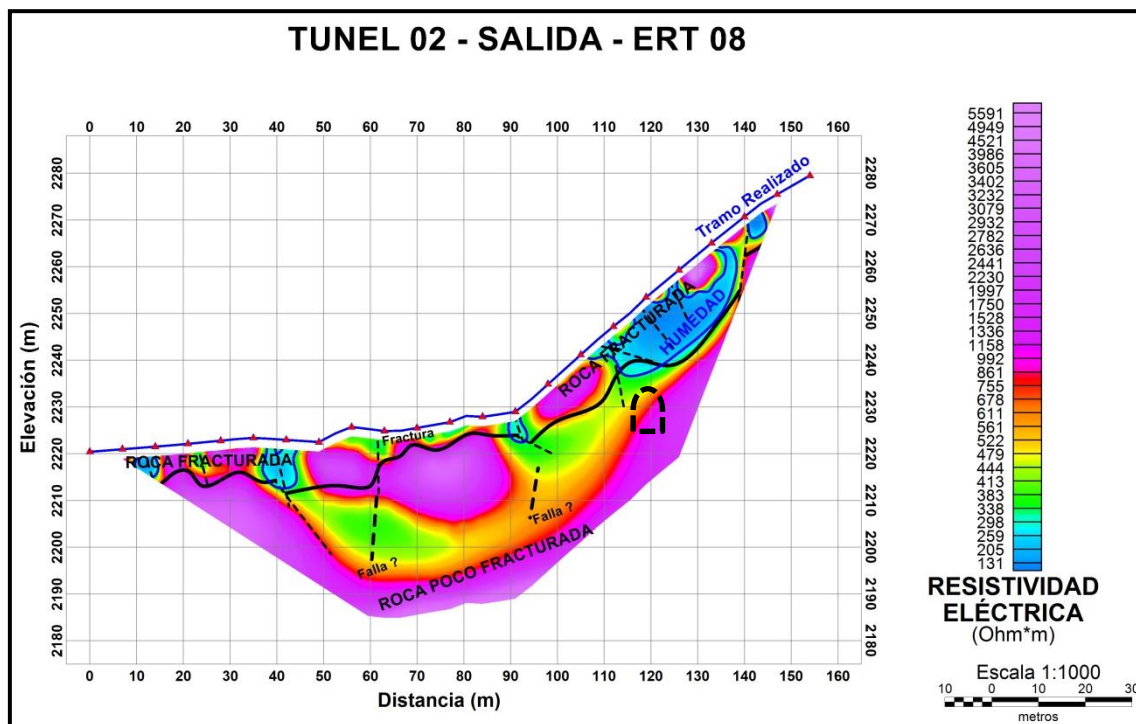


El siguiente perfil tiene una longitud de 154 m. La obtención de datos se realizó con el arreglo de electrodos Dipolo - Dipolo, con el cual se pudo investigar hasta una profundidad de 33 m aproximadamente. Como podemos observar en el gráfico, las características geoelectricas del subsuelo son irregulares y notables; en este caso se detectó la presencia de humedad en algunas zonas cerca de la superficie, producto de la precipitación pluvial de la zona, y a su vez la presencia de roca con grados de fracturamiento diferentes.

La coloración celeste representaría zonas con presencia de posible humedad que no sobrepasan los 15 m de profundidad, cuyas resistividades varían entre 190 - 300 ohm\*m aproximadamente. La coloración verde y amarillo, representaría posiblemente roca medianamente fracturada, con resistividades que varían entre 300 - 1200 ohm\*m aproximadamente, las cuales se manifiestan en casi toda la sección de análisis, teniendo una tendencia vertical, lo cual posiblemente indicaría la existencia de zonas de fallas. El color rojo a magenta representa un material muy compacto posiblemente roca con bajo grado de fracturamiento, el cual se presenta generalmente a mayores profundidades; sin embargo, en el caso de superficie representaría material seco o posiblemente roca fracturada, con resistividades que varían entre 1200 - 7000 ohm\*m aproximadamente.

## Línea ERT 08 – Km 06+020 (dirección al eje)

Elaborado por: CESEL S.A.C.



El siguiente perfil tiene una longitud de 154 m. La obtención de datos se realizó con el arreglo de electrodos Dipolo - Dipolo, con el cual se pudo investigar hasta una profundidad de 33 m aproximadamente. Como podemos observar en el gráfico, las características geoelectricas del subsuelo son irregulares y notables; en este caso se detectó la presencia de humedad en algunas zonas cerca de la superficie, producto de la precipitación pluvial de la zona, y a su vez la presencia de roca con grados de fracturamiento diferentes.

La coloración celeste a celeste representaría zonas con presencia de posible humedad, se encuentran resaltadas por líneas azules que 13 m como máximo de profundidad, cuyas resistividades varían entre 120 - 300 ohm\*m aproximadamente. La coloración verde y amarillo, representaría posiblemente roca medianamente fracturada, con resistividades que varían entre 300 - 600 ohm\*m aproximadamente, en esta sección se encuentra esporádicamente en superficie, con espesores variables; sin embargo, la mayor parte de ésta se aprecia a profundidad, indicando zonas fracturadas o de posibles fallas dentro del afloramiento. El color rojo a magenta representa un material muy compacto posiblemente roca con bajo grado de fracturamiento, el cual se presenta generalmente a mayores profundidades; sin embargo, en el caso de superficie representaría material seco o posiblemente roca fracturada, con resistividades que varían entre 650 - 5600 ohm\*m aproximadamente.

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA : CE-30

TESIS : "Estudio geotécnico para el diseño del túnel 2 de la vía Evitamiento - ciudad de Huánuco"

UBICACIÓN : Huánuco

COORDENADAS : 365 225 E; 8 901 165 N

REFERENCIA : Prog. 5+690 (Portal túnel 2)

REALIZADO POR: CESEL S.A.C.

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 2.40

ELEVACIÓN (m) : 2237.00

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A.

PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO  Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS  AASHTO	GRANULOMETRIA			L.L.  %	L.P.  %	H.N.  %	Nº DE MUESTRA	PROF. (m)
				< 0.075 mm	0.075 mm a 4.750 mm	4.750 mm a 75 mm					
0.30		Cobertura. Conformado por grava en matriz limo arcilloso, color marrón rojizo, seco, medianamente plástico, medianamente denso, con presencia de raíces.	-	-	-	-	-	-	-	S/M	0.30
1.00		Grava limosa con arcilla, gravas de forma subangulosa, color marrón claro a amarillo, ligeramente húmedo, medianamente plástico, medianamente denso.	GC-GM	-	-	-	-	-	-	S/M	1.00
2.00		Roca esquisto meteorizada.	-	-	-	-	-	-	-	M-1	2.00
2.40											2.40
3.00											3.00
4.00											4.00

OBSERVACIONES:

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA : CE-31

TESIS : "Estudio geotécnico para el diseño del túnel 2 de la vía Evitamiento - ciudad de Huánuco"

UBICACIÓN : Huánuco

COORDENADAS : 365 459 E; 8 901 458 N


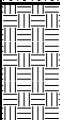
REFERENCIA : Prog. 6+070 (Salida túnel 2)

REALIZADO POR: CESEL S.A.C.

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 0.60

ELEVACIÓN (m) : 2225.00

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A.

PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO  Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS	GRANULOMETRIA			L.L.	L.P.	H.N.	Nº DE MUESTRA	PROF. (m)
			AASHTO	< 0.075 mm	0.075 mm a 4.750 mm	4.750 mm a 75 mm					
0.30		Cobertura. Conformado por limo arcilloso con gravas aisladas, color marrón rojizo, seco, ligeramente plástico, ligeramente compacto, con presencia de raíces.	-	-	-	-	-	-	-	S/M	0.30
0.60		Roca esquistó meteorizada.	-	-	-	-	-	-	-	M-1	0.60
1.00											1.00
2.00											2.00
3.00											3.00
4.00											4.00

OBSERVACIONES:

REGISTRO DE SONDAJE

SONDEO : DPL-10

TESIS

: "Estudio geotécnico para el diseño del túnel 2 de la vía Evitamiento - ciudad de Huánuco"

UBICACIÓN

: Huanúco

COORDENADAS

: 8 901 632 N; 366 020 E

REFERENCIA

: CE-31

REALIZADO POR

: CESEL S.A.C.

Cota (m.s.n.m.)

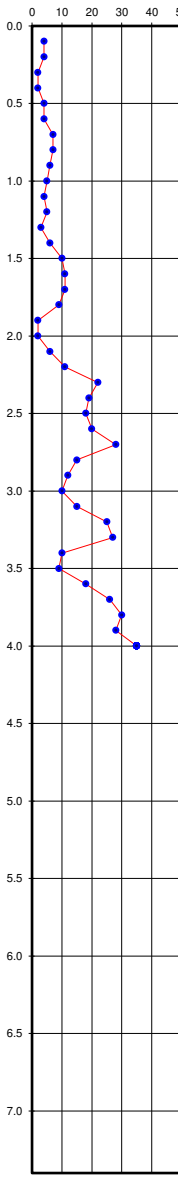
: 2257

PROFUNDIDAD TOTAL (m)

: 4.00

PROF. NIVEL FREÁTICO (m)

: -

PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA N <sub>DPL</sub> = $\frac{\text{Nº de golpes}}{10 \text{ cm}}$
			N SPT	Φ (°) suelo friccionante	c (Kg/cm <sup>2</sup> ) suelo cohesivo	
	Cobertura, suelta.	-				
1.00	Grava arcillosa, suelta.	GC	6	26.0	-	
			4	23.9	-	
			10	29.1	-	
2.00	Grava arcillosa, medianamente densa.		13	31.1	-	
			21	35.5	-	
3.00			22	36.0	-	
			24	36.9	-	
4.00	Grava arcillosa, densa.		35	41.5	-	
5.00						
6.00						
7.00						
8.00						
OBSERVACIONES		: Rebote del martillo con 35 golpes a 4.00 m de profundidad.				

Página 1/1

**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO**  
**CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR**

**TESIS :** "ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA EVITAMIENTO - HUÁNUCO"

**ESTACIÓN GEOMECÁNICA:** EG-11A (PE-2)

**Roca :** Esquito micáceo

**SECTOR:** 5+720 - 5+740

**DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)**

1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)							48.0 Mpa
Rango de valores	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
Valoración :							4

2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)						45 %
Rango de valores	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
Valoración :						7

3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES						0.50 m
Rango de valores	> 2	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.06 - 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
Valoración :						10

4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Persistencia de las discontinuidades						4 m
Rango de valores	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20	
Puntaje	6	4	2	1	0	
Valoración :						2
Separación (apertura)						3 mm
Rango de valores	Ninguno	< 0.1	0.1 - 1.0	1 - 5	> 5	
Puntaje	6	5	4	1	0	
Valoración :						1
Rugosidad						L
Condición	Muy rugosa VR	Rugosa R	Ligeramente rugosa SR	Lisa L	Superficie pulida SK	
Puntaje	6	5	3	1	0	
Valoración :						1
Relleno						0 mm
Rango de valores	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5	
Puntaje	6	4	2	2	0	
Marque con X el tipo de relleno :		Blando : X	Duro :	Valoración : 6		
Meteorización						HW
Condición	No Intemperizada UW	Ligeramente intemperizada SW	Moderadamente Intemperizada MW	Altamente Intemperizada HW	Completamente Intemperizada CW	
Puntaje	6	5	3	1	0	
Valoración :						1

5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA						CD
Condición	Completamente seca CD	Humeda DM	Mojada WT	Goteo DP	Flujo FW	
Puntaje	15	10	7	4	0	
Valoración :						15

6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES							FV
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable VF	Favorable FV	Regular FR	Desfavorable UF	Muy desfavorable VU	
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12	
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25	
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60	
Indique el tipo de trabajo <input checked="" type="checkbox"/> T		Valoración :					-2

VALOR DE RMR	
RMR Básico	47
RMR Ajustado	45
Cohesión (c)	235 KPa
Ángulo de fricción interna (°)	29°

\*Cálculo de la cohesión y ángulo de fricción establecidos por Bieniawski 1976  
 Cohesión (c)= 5\*RMR básico      Ángulo de fricción (°) = 5 +(RMR básico/2)



**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO**  
**CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR**

**TESIS :** "ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA EVITAMIENTO - HUÁNUCO"

**ESTACIÓN GEOMECAÁNICA:** EG-11

**Roca :** Esquito micáceo

**SECTOR:** 5+770 - 5+790

**DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)**

1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)							81.0 Mpa
Rango de valores	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
Valoración :							6

2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)						65 %
Rango de valores	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
Valoración :						11

3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES						0.30 m
Rango de valores	> 2	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.06 - 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
Valoración :					9	

4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Persistencia de las discontinuidades						3 m
Rango de valores	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20	
Puntaje	6	4	2	1	0	
Valoración :						2
Separación (apertura)						2 mm
Rango de valores	Ninguno	< 0.1	0.1 - 1.0	1 - 5	> 5	
Puntaje	6	5	4	1	0	
Valoración :						1
Rugosidad						L
Condición	Muy rugosa VR	Rugosa R	Ligeramente rugosa SR	Lisa L	Superficie pulida SK	
Puntaje	6	5	3	1	0	
Valoración :						1
Relleno						0 mm
Rango de valores	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5	
Puntaje	6	4	2	2	0	
Marque con X el tipo de relleno :		Blando : X	Duro :	Valoración :		6
Meteorización						HW
Condición	No Intemperizada UW	Ligeramente intemperizada SW	Moderadamente Intemperizada MW	Altamente Intemperizada HW	Completamente Intemperizada CW	
Puntaje	6	5	3	1	0	
Valoración :						1

5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA						CD
Condición	Completamente seca CD	Humeda DM	Mojada WT	Goteo DP	Flujo FW	
Puntaje	15	10	7	4	0	
Valoración :						15

6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES							FV
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable VF	Favorable FV	Regular FR	Desfavorable UF	Muy desfavorable VU	
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12	
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25	
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60	
Indique el tipo de trabajo <input checked="" type="checkbox"/> T		Valoración :					-2

VALOR DE RMR		
RMR Básico	:	52
RMR Ajustado	:	50
Cohesión (c)	:	260 KPa
Angulo de fricción interna (°)	:	31°

\*Cálculo de la cohesión y ángulo de fricción establecidos por Bieniawski 1976  
Cohesión (c)= 5°RMR básico      Ángulo de fricción (°) = 5 +(RMR básico/2)

**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO**  
**CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR**

**TESIS :** "ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA EVITAMIENTO - HUÁNUCO"

**ESTACIÓN GEOMECAÁNICA:** EG-12A (PS-2)

**Roca :** Esquisto micáceo

**SECTOR:** 6+060 - 6+070

**DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)**

1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)						75.0 Mpa	
Rango de valores	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
Valoración :						6	

2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)					60 %
Rango de valores	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25
Puntaje	20	17	13	8	3
Valoración :					10

3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES					0.50 m
Rango de valores	> 2	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.06 - 0.2	< 0.06
Puntaje	20	15	10	8	5
Valoración :					10

4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					
Persistencia de las discontinuidades					4 m
Rango de valores	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20
Puntaje	6	4	2	1	0
Valoración :					2
Separación (apertura)					8 mm
Rango de valores	Ninguno	< 0.1	0.1 - 1.0	1 - 5	> 5
Puntaje	6	5	4	1	0
Valoración :					0
Rugosidad					L
Condición	Muy rugosa VR	Rugosa R	Ligeramente rugosa SR	Lisa L	Superficie pulida SK
Puntaje	6	5	3	1	0
Valoración :					1
Relleno					8 mm
Rango de valores	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5
Puntaje	6	4	2	2	0
Marque con X el tipo de relleno : Blando : Duro : X					Valoración : 2
Meteorización					HW
Condición	No Intemperizada UW	Ligeramente intemperizada SW	Moderadamente Intemperizada MW	Altamente Intemperizada HW	Completamente Intemperizada CW
Puntaje	6	5	3	1	0
Valoración :					1

5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA					CD
Condición	Completamente seca CD	Humeda DM	Mojada WT	Goteo DP	Flujo FW
Puntaje	15	10	7	4	0
Valoración :					15

6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						FV	
Orientaciones del rumbo y buzamiento		Muy Favorable VF	Favorable FV	Regular FR	Desfavorable UF	Muy desfavorable VU	
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12	
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25	
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60	
Indique el tipo de trabajo <b>T</b>		Valoración :				-2	

VALOR DE RMR	
RMR Básico	47
RMR Ajustado	45
Cohesión (c)	235 KPa
Angulo de fricción interna (°)	29°

\*Cálculo de la cohesión y ángulo de fricción establecidos por Bieniawski 1976  
 Cohesión (c)= 5\*RMR básico      Ángulo de fricción (°) = 5 +(RMR básico/2)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN LUGEON

TESIS : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA DE EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

REALIZADO POR: CESEL S.A.C.

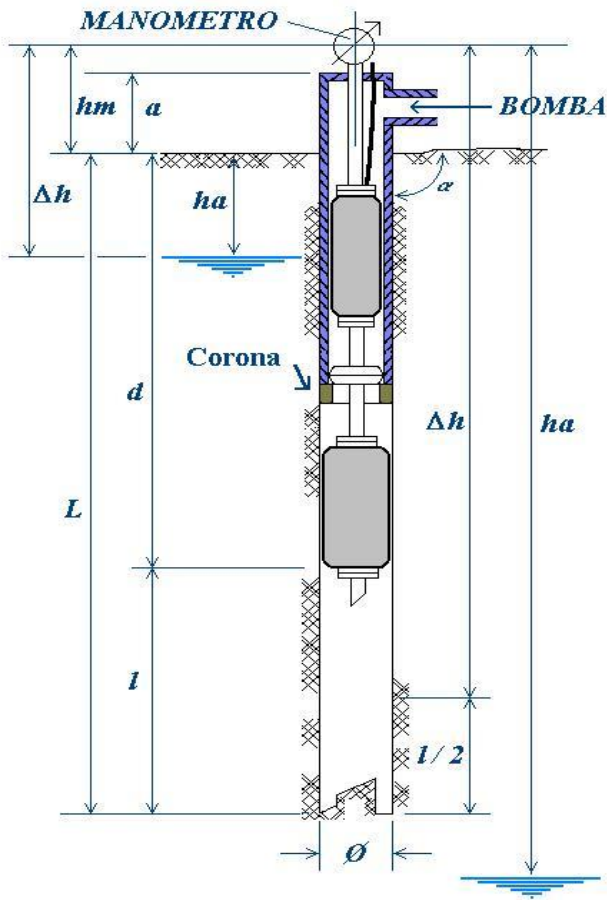
ÁREA : TÚNEL 02 PORTAL DE ENTRADA

PROF. DE ENSAYO DE : 78.00 A 83.00 m  
FECHA : 16/12/2016 Hr.INICIO 15:00 FIN : 16:00

LITOLOGÍA DEL TRAMO : Esquisto

SONDEO N° P.E. TUNEL-2

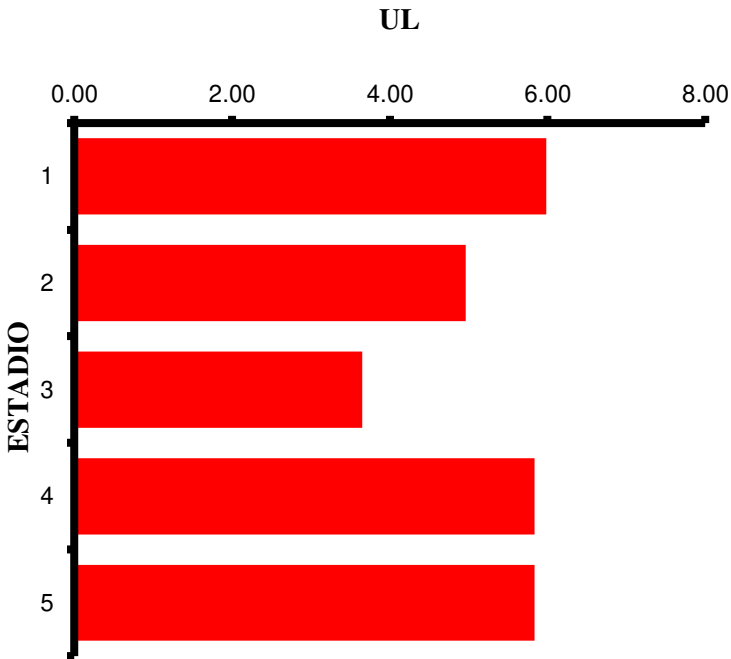
ENSAYO N° 1



hm	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.20	m
a	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	1.20	m
ha	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	0.00	m
Δh	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	0.20	m
d	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	78.00	m
L	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	83.00	m
α	=	INCLINACION C/HORIZONTAL	2	°
Δh'	=	Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	0.01	m
l	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.00	m
Ø	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	10.16	cm
e	=	DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	3.00	pulg
PM	=	PRESION MANOMETRICA		
PEF	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
Δp	=	PERDIDAS DE CARGA		
q	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
qt	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
G	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
Q	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Mt. DE TRAMO DE ENSAYO		
UL	=	UNIDAD LUGEON ( Q x 10 / P <sub>EF</sub> )		

TIEMPO EN MINUTO	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup>
	LECTURA CAUDAL	q (l)	LECTURA CAUDAL	q (l)	LECTURA CAUDAL	q (l)	LECTURA CAUDAL	q (l)	LECTURA CAUDAL	q (l)
0	500.00		1100.00		1250.00		1550.00		2100.00	
1	504.00	4.00	1107.00	7.00	1260.00	10.00	1558.00	8.00	2104.00	4.00
2	508.00	4.00	1114.00	7.00	1270.00	10.00	1566.00	8.00	2108.00	4.00
3	512.00	4.00	1121.00	7.00	1280.00	10.00	1574.00	8.00	2112.00	4.00
4	516.00	4.00	1127.00	6.00	1290.00	10.00	1582.00	8.00	2116.00	4.00
5	521.00	5.00	1134.00	7.00	1300.00	10.00	1590.00	8.00	2120.00	4.00
6	525.00	4.00	1140.00	6.00	1310.00	10.00	1598.00	8.00	2124.00	4.00
7	529.00	4.00	1147.00	7.00	1320.00	10.00	1606.00	8.00	2128.00	4.00
8	533.00	4.00	1154.00	7.00	1330.00	10.00	1614.00	8.00	2132.00	4.00
9	537.00	4.00	1161.00	7.00	1340.00	10.00	1622.00	8.00	2136.00	4.00
10	541.00	4.00	1168.00	7.00	1350.00	10.00	1630.00	8.00	2140.00	4.00
q (l)		41.00		68.00		100.00		80.00		40.00
q t (l)		4.10		6.80		10.00		8.00		4.00
Q ( l/min/m )		0.82		1.36		2.00		1.60		0.80
Δp ( kg/cm <sup>2</sup> )		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
CH (Δh'/10)		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
P <sub>EF</sub> ( kg/cm <sup>2</sup> )		1.37		2.74		5.48		2.74		1.37
U L		5.98		4.96		3.65		5.84		5.84

GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON

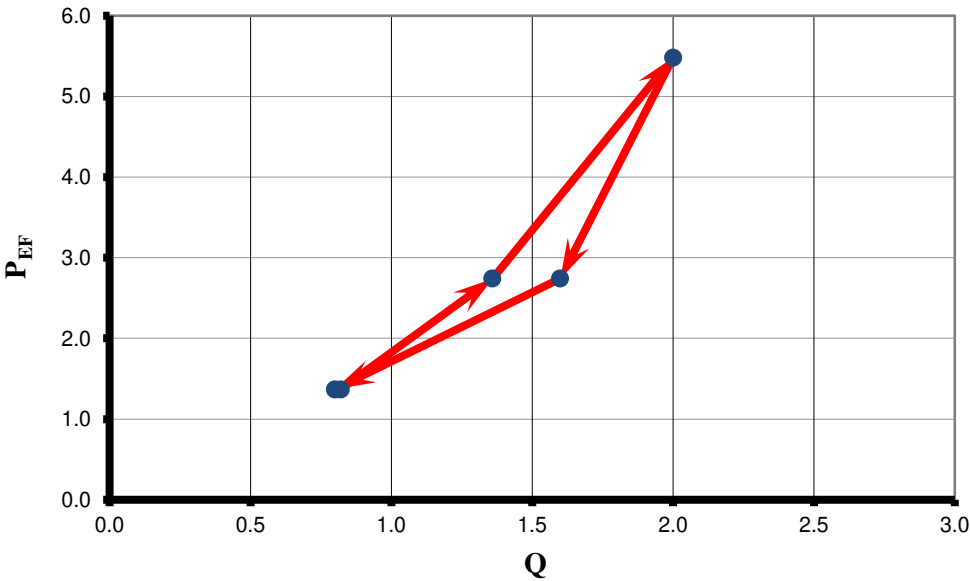


UNIDAD LUGEON SELECCIONADA : 5.25 U L

K (PERMEABILIDAD) : 6.83E-05 cm/s

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

REPRESENTACION GRAFICA



OBSERVACIONES

FLUJO LAMINAR

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN LUGEON

TESIS : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA DE EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

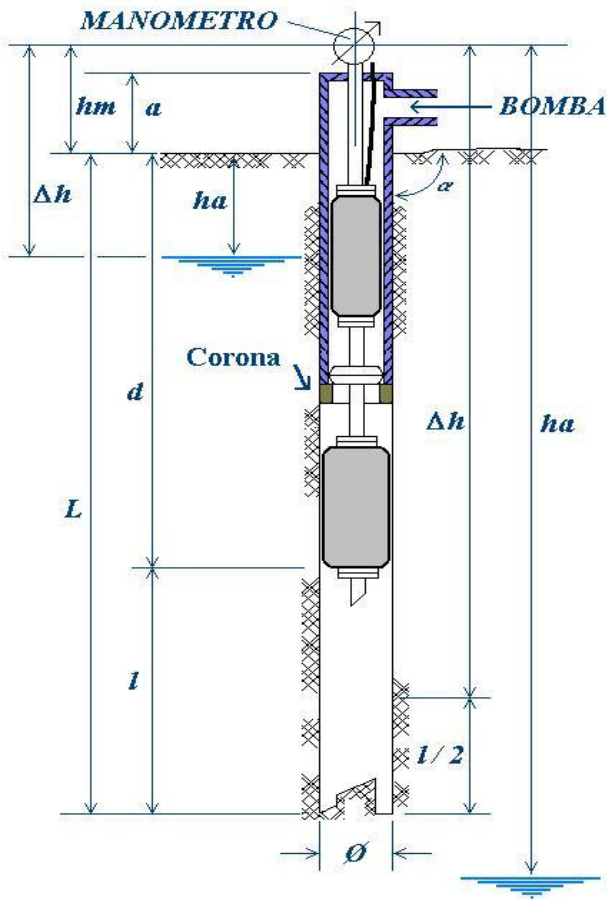
REALIZADO POR: CESEL S.A.C.

ÁREA : TÚNEL 02 PORTAL DE SALIDA

PROF. DE ENSAYO DE : 58.00 A 63.00 m  
FECHA : 16/12/2016 Hr.INICIO 15:00 FIN : 16:00

SONDEO N° P.S. TUNEL-2

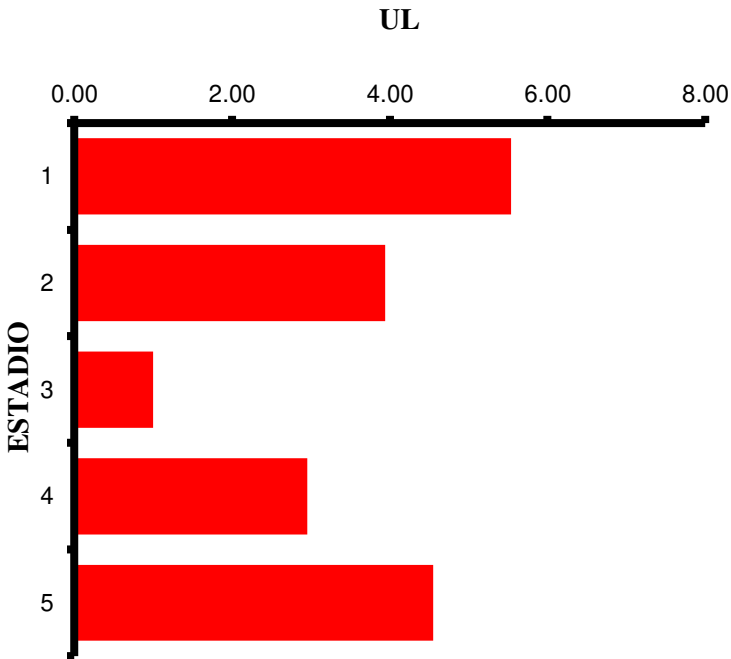
ENSAYO N° 2



hm	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.20	m
a	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	1.20	m
ha	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	0.00	m
Δh	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	0.20	m
d	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	58.00	m
L	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	63.00	m
α	=	INCLINACION C/HORIZONTAL	2	°
Δh'	=	Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	0.01	m
l	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.00	m
Ø	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	10.16	cm
e	=	DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	3.00	pulg
PM	=	PRESION MANOMETRICA		
PEF	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
Δp	=	PERDIDAS DE CARGA		
q	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
qt	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
G	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
Q	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Mt. DE TRAMO DE ENSAYO		
UL	=	UNIDAD LUGEON ( Q x 10 / P <sub>EF</sub> )		

TIEMPO EN MINUTO	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup> 1.01	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup> 2.03	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup> 4.00	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup> 2.03	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup> 1.01
	LECTURA CAUDAL	q (l)	LECTURA CAUDAL	q (l)	LECTURA CAUDAL	q (l)	LECTURA CAUDAL	q (l)	LECTURA CAUDAL	q (l)
0	500.00		850.00		1100.00		1450.00		1900.00	
1	503.00	3.00	854.00	4.00	1102.00	2.00	1453.00	3.00	1902.00	2.00
2	506.00	3.00	858.00	4.00	1104.00	2.00	1456.00	3.00	1904.00	2.00
3	509.00	3.00	862.00	4.00	1106.00	2.00	1459.00	3.00	1906.00	2.00
4	512.00	3.00	866.00	4.00	1108.00	2.00	1462.00	3.00	1908.00	2.00
5	514.00	2.00	870.00	4.00	1110.00	2.00	1465.00	3.00	1911.00	3.00
6	517.00	3.00	874.00	4.00	1112.00	2.00	1468.00	3.00	1913.00	2.00
7	520.00	3.00	878.00	4.00	1114.00	2.00	1471.00	3.00	1915.00	2.00
8	523.00	3.00	882.00	4.00	1116.00	2.00	1474.00	3.00	1918.00	3.00
9	525.00	2.00	886.00	4.00	1118.00	2.00	1477.00	3.00	1920.00	2.00
10	528.00	3.00	890.00	4.00	1120.00	2.00	1480.00	3.00	1923.00	3.00
q (l)		28.00		40.00		20.00		30.00		23.00
q t (l)		2.80		4.00		2.00		3.00		2.30
Q ( l/min/m )		0.56		0.80		0.40		0.60		0.46
Δp ( kg/cm <sup>2</sup> )		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
CH (Δh'/10)		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
P <sub>EF</sub> ( kg/cm <sup>2</sup> )		1.01		2.03		4.00		2.03		1.01
U L		5.54		3.94		1.00		2.95		4.55

GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON

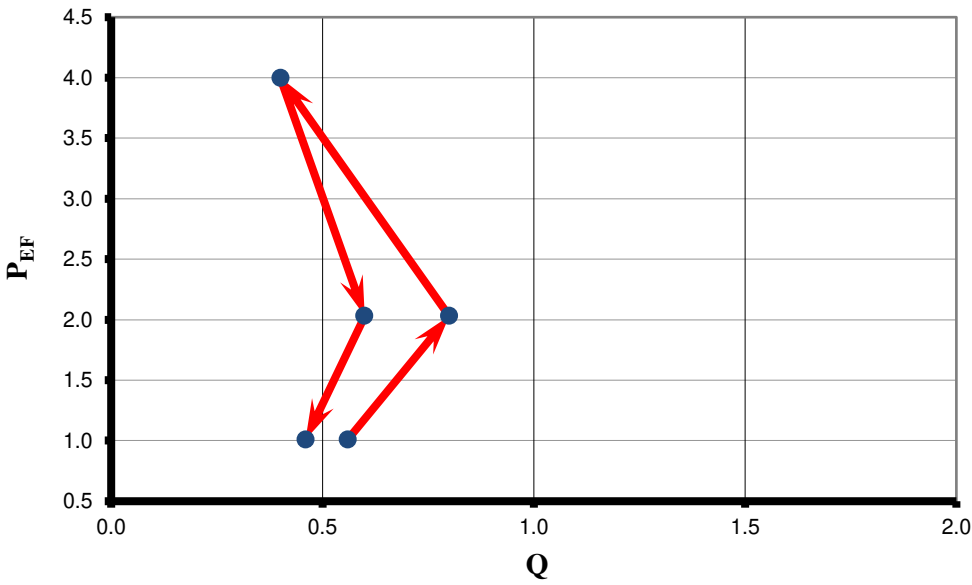


UNIDAD LUGEON SELECCIONADA : 1.00 U L

K (PERMEABILIDAD) : 1.30E-05 cm/s

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

REPRESENTACION GRAFICA



OBSERVACIONES

FLUJO TURBULENTO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA A PRESIÓN LUGEON

TESIS : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA DE EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

REALIZADO POR: CESEL S.A.C.

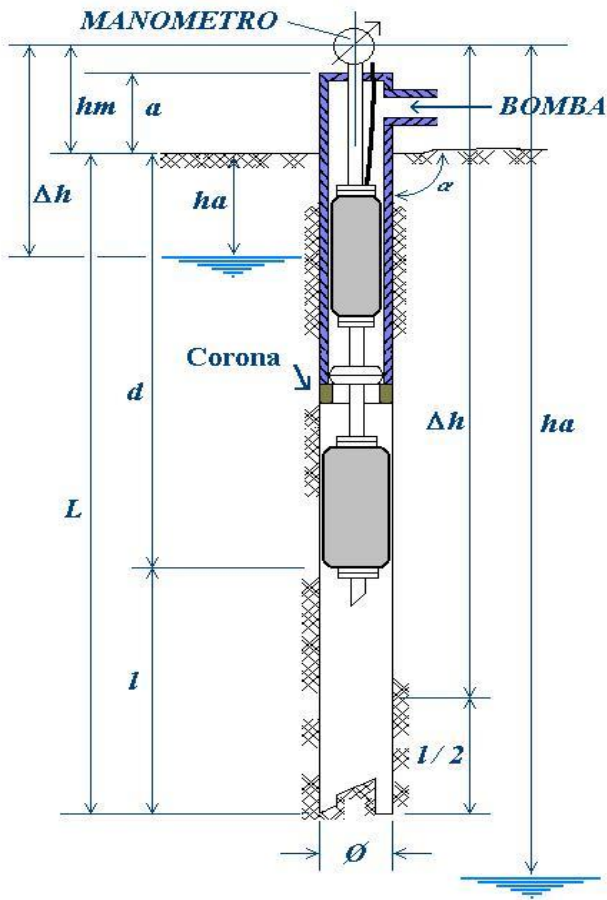
ÁREA : TÚNEL 02 PORTAL DE SALIDA

PROF. DE ENSAYO DE : 95.00 A 100.00 m  
FECHA : 25/11/2016 Hr.INICIO 15:00 FIN : 16:00

SONDEO N° P.S. TUNEL-2

ENSAYO N° 3

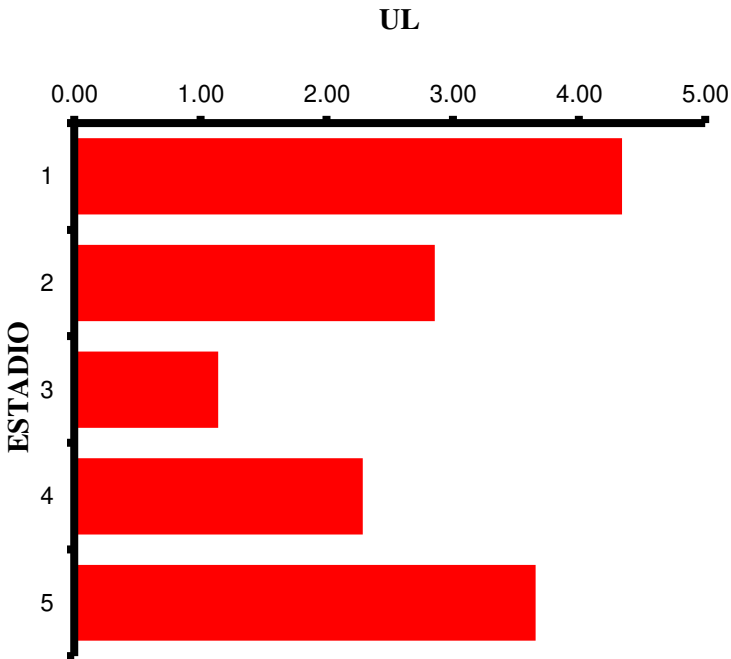
LITOLOGÍA DEL TRAMO : Esquisto



hm	=	ALTURA DEL MANOMETRO	0.20	m
a	=	ALTURA SOBRE NIVEL DEL TERRENO	1.20	m
ha	=	PROFUNDIDAD NIVEL FREATICO	0.00	m
Δh	=	SOBRECARGA HIDRAULICA	0.20	m
d	=	PROFUNDIDAD DEL OBTURADOR	95.00	m
L	=	PROFUNDIDAD DE PERFORACION	100.00	m
α	=	INCLINACION C/HORIZONTAL	2	°
Δh'	=	Δh CORREGIDA = Sen α x Δh	0.01	m
l	=	LONGITUD TRAMO DE ENSAYO	5.00	m
Ø	=	DIAMETRO DEL BULBO DEL ENSAYO	10.16	cm
e	=	DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ENSAYO	3.00	pulg
PM	=	PRESION MANOMETRICA		
PEF	=	PRESION EFECTIVA EN EL PUNTO MEDIO DEL TRAMO DEL ENSAYO		
Δp	=	PERDIDAS DE CARGA		
q	=	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS POR MINUTO DURANTE EL ENSAYO		
qt	=	VOLUMEN TOTAL DE AGUA EN LITROS PARA CADA ESTADIO		
G	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO PARA CADA ESTADIO		
Q	=	CAUDAL EN LITROS POR MINUTO POR Mt. DE TRAMO DE ENSAYO		
UL	=	UNIDAD LUGEON ( Q x 10 / P <sub>EF</sub> )		

TIEMPO EN MINUTO	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> =	Kg/cm <sup>2</sup>
	LECTURA CAUDAL	q (l)	LECTURA CAUDAL	q (l)	LECTURA CAUDAL	q (l)	LECTURA CAUDAL	q (l)	LECTURA CAUDAL	q (l)
0	50.00		180.00		410.00		850.00		1100.00	
1	54.00	4.00	185.00	5.00	414.00	4.00	854.00	4.00	1103.00	3.00
2	58.00	4.00	190.00	5.00	418.00	4.00	858.00	4.00	1106.00	3.00
3	62.00	4.00	195.00	5.00	422.00	4.00	862.00	4.00	1110.00	4.00
4	65.00	3.00	200.00	5.00	427.00	5.00	866.00	4.00	1113.00	3.00
5	69.00	4.00	205.00	5.00	431.00	4.00	870.00	4.00	1116.00	3.00
6	73.00	4.00	210.00	5.00	435.00	4.00	874.00	4.00	1119.00	3.00
7	76.00	3.00	215.00	5.00	439.00	4.00	878.00	4.00	1122.00	3.00
8	80.00	4.00	220.00	5.00	442.00	3.00	882.00	4.00	1126.00	4.00
9	84.00	4.00	225.00	5.00	446.00	4.00	886.00	4.00	1129.00	3.00
10	88.00	4.00	230.00	5.00	450.00	4.00	890.00	4.00	1132.00	3.00
q (l)		38.00		50.00		40.00		40.00		32.00
q t (l)		3.80		5.00		4.00		4.00		3.20
Q ( l/min/m )		0.76		1.00		0.80		0.80		0.64
Δp ( kg/cm <sup>2</sup> )		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
CH (Δh'/10)		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
P <sub>EF</sub> ( kg/cm <sup>2</sup> )		1.75		3.50		7.00		3.50		1.75
U L		4.34		2.86		1.14		2.29		3.66

GRAFICO DE PATRON DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES LUGEON

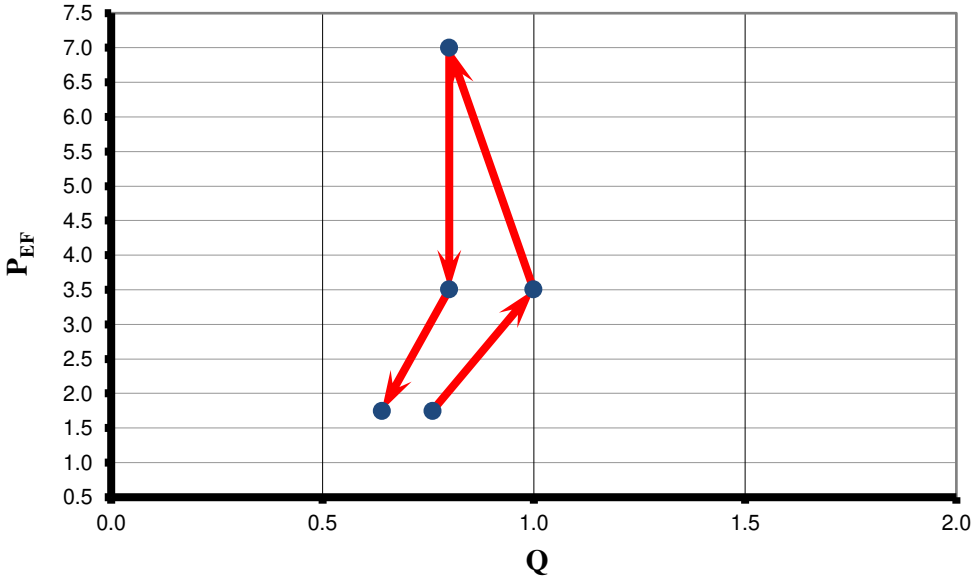


UNIDAD LUGEON SELECCIONADA : 1.14 U L

K (PERMEABILIDAD) : 1.48E-05 cm/s

$$P_{EF} = (P_M - \Delta p) + CH$$

REPRESENTACION GRAFICA



OBSERVACIONES

FLUJO TURBULENTO



TESIS : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO														Registro de Perforación: P.E. TUNEL 2											
UBICACIÓN : TÚNEL 02 PORTAL DE ENTRADA														Hoja 1 de 12											
MÉTODO DE PERFORACIÓN : ROTATIVA														NORTE : 8 901 136 ESTE: 365 219 ELEV: 2 214m.s.n.m.											
TIPO DE MÁQUINA : LONGYEAR 44														AZIMUT : 036°											
DIÁMETRO DE PERF. / PROF. (m) : HQ														INCLINACIÓN: +2° SUPERVISADO POR: CESEL S.A.C.											
PROF. REVESTIMIENTO HW (m) : 10,00														PROF. TOTAL (m) : 120.10 NIVEL FREÁTICO (m): NE											
Profundidad (m)	Agua de retorno de perforación (%)	N° Caja	N° Corrida	N° Fracturas / Corrida	Permeabilidad (cm/s)	Gráfica del Perfil Geológico	DESCRIPCION  SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compactad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas < 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.  ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meteorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, características de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.	Recuperación (%)	Gráfica Recuperación	RQD (%)	Gráfica RQD	ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO				INDICES DE LA ROCA						COMENTARIOS			
												Tipo	Número	N° Golpes por intervalo	Valores SPT / LPT (N)	Meteorización	Resistencia	Fracturamiento	RMR (1989)		Índice Q				
																			Valuación ajustada a túnel	Clase					
1 1.2  2  2.8 3  4  5  5.8 6  6.8 7  8  8.3 9  9.5 10			1	10		0,00- 0,90 m  Esquisto micáceo de color gris verdoso, levemente meteorizado, resistencia de la roca alta, ligeramente fracturada. Fracturas principalmente planas de superficies ondulas, con rellenos de cuarzo de 2 a 5 mm. Presencia de leve oxidación.  0,90-1,20 mEsquisto micáceo de color gris verdoso, extremadamente meteorizado, resistencia baja a muy baja , extremadamente fracturada. Fracturas principalmente planas de superficies ligeramente rugosas, con rellenos de cuarzo de 2 a 5 mm.	100		42							M3	R3 R4	F4 F3	41	III	0.25				
			2	8		1,20 - 2,50 m  Esquisto micáceo de color gris verdoso, moderadamente meteorizado, resistencia de la roca media, ligeramente fracturada. Fracturas principalmente planas de superficies ligeramente rugosas, con rellenos de cuarzo de 2 a 3 mm. Presencia con moderada oxidación y bandeamiento moderado.	98		35								M3	R3 R2	F3	40	IV	0.20			
			3	18		2,50 - 3,10 m  Esquisto micáceo de color gris verdoso, grano fino, muy meteorizado, resistencia media, muy fracturado, relleno de cuarzo de 3 - 10 mm. Fuertemente oxidada.	97		43								M4	R3 R2	F4	35	IV	0.10			
			4	11		3,10 - 5,55 m  Esquito micáceo de color gris verdoso, grano fino, moderadamente meteorizado, resistencia media, muy fracturado, rugoso, relleno de cuarzo de 2 - 5 mm. Fuertemente oxidada se nota la presencia dentro de la roca superficialmente oxidada.	98		54								M3	R3 R4	F4 F3	45	III	0.43			
			5	23		5,55 - 5,80 m Esquito micáceo de color gris, grano fino, extremadamente meteorizado, resistencia muy baja,extremadamente fracturado, ligeramente rugoso, sin relleno, ni apertura.	99		60								M1	R1 R2	F5	47	III	0.58			
			6	10		5,80 - 9,50 m  Esquito micáceo de color gris verdoso, grano fino, moderadamente meteorizado, resistencia media, moderamente fracturado, ligeramente rugoso, relleno de cuarzo de 2 - 4 mm. Moderadamente oxidada y bandeamiento 02 - 03 cm.	95		43								M4	R3 R2	F3 F4	39	IV	0.18			
			7	7			100		39								M3	R3 R4	F3	41	III	0.23			
			8	5			98		45								M3	R4	F2 F3	43	III	0.32			
			9	2		9,50 - 10,40 m Esquito micáceo, gris verdoso, grano fino, levemente meteorizado, resistencia alta, ligeramente fracturado, ligeramente rugoso, relleno de cuarzo de 1 - 2 mm.	100		49								M2	R4 R5	F2	47	III	0.58			
LEYENDA																									
<b>ENSAYOS IN SITU EN SUELOS</b> qu Penetrómetro de mano T Veleta CPT Penetración Cono Peck SPT Penetración Estándar LPT Penetración Pesada						<b>METEORIZACION</b> M1 Sana M2 Ligeramente meteorizada M3 Moderadamente meteorizada M4 Muy meteorizada M5 Extremadamente meteorizada						<b>RESISTENCIA</b> Mpa R0 Extremadamente baja 0.25 - 1 R1 Muy baja 1 - 5 R2 Baja 5 - 25 R3 Media 25 - 50 R4 Alta 50 - 100 R5 Muy alta 100 - 250 R6 Extremadamente alta >250						<b>FRACTURAMIENTO</b> f/m F1 Masiva < 1 F2 Ligeramente fracturada 1 - 5 F3 Moderadamente fracturada 6 - 10 F4 Muy fracturada 11 - 20 F5 Extremadamente fracturada > 20							
<b>DIAMETRO DE PERFORACIÓN</b> HQ ó NQ Perforación Diamantina (02 tubos) HQ3 ó NQ3 Perforación Diamantina (03 tubos)						<b>TIPO DE MUESTRA</b> CS Muestra de Testigo ST Tubo Shelby SPT Cuchara partida LPT Cuchara partida						<b>INDICE - BIENIWASKI (1989)</b> Tipo de roca Calidad Valor I Muy buena 81 - 100 II Buena 61 - 80 III Regular 41 - 60 IV Mala 21 - 40 V Muy mala < 20						<b>RQD</b> 0 - 25 Muy pobre 25 - 50 Pobre 50 - 75 Regular 75 - 90 Buena 90 - 100 Excelente							

TESIS : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

Registro de Perforación: P.E. TUNEL 2

UBICACIÓN : TÚNEL 02 PORTAL DE ENTRADA

Hoja 2 de 12

MÉTODO DE PERFORACIÓN : ROTATIVA

TIPO DE MÁQUINA : LONGYEAR 44

DIÁMETRO DE PERF. / PROF. (m) : HQ

PROF. REVESTIMIENTO HW (m) : 10,00

NORTE : 8 901 136

ESTE: 365 219

ELEV: 2 214m.s.n.m.

AZIMUT : 036°

INCLINACIÓN: +2°

SUPERVISADO POR: CESEL S.A.C.

PROF. TOTAL (m) : 120.10

NIVEL FREÁTICO (m): NE

Profundidad (m)	Agua de retorno de perforación (%)	N° Caja	N° Corrida	N° Fracturas / Corrida	Permeabilidad (cm/s)	Gráfica del Perfil Geológico	DESCRIPCION  SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas < 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.  ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meteorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, características de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.	Recuperación (%)	Gráfica Recuperación	RQD (%)	Gráfica RQD	ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO				INDICES DE LA ROCA					COMENTARIOS			
												Tipo	Número	N° Golpes por intervalo	Valores SPT / LPT (N)	Meteorización	Resistencia	Fracturamiento	RMR (1989)			Índice Q		
																			Valoración ajustada a túnel	Clase				
11 11.1  12 12.2  13 13.2  14  14.8 15 15.5  16 16.1  17 17.2  18 18.2  18.7 19  20			9	2			Continúa tramo 9,50 - 10,40 m	100		49						M2	R4 R5	F2	47	III	0.58			
			10	10			98		20						M2	R4 R5	F3 F4	43	III	0.34				
			11	12			93		49						M2	R3 R4	F4 F3	46	III	0.50				
			12	12			96		57						M3	R3 R4	F4	46	III	0.50				
			13	14			94		38						M3	R3 R4	F4	43	III	0.32				
			14	21			90		32						M4	R3	F5	45	III	0.46				
			15	15			91		30						M3	R3 R4	F4	42	III	0.29				
			16	8			93		16						M3	R3 R4	F3	43	III	0.34				
			17	7			100		67						M2	R3	F3	53	III	1.47				
			18	7			98		75						M2	R4	F3	54	III	1.85				

LEYENDA

ENSAYOS IN SITU EN SUELOS

q<sub>u</sub> Penetrómetro de mano  
T Velela  
CPT Penetración Cono Peck  
SPT Penetración Estándar  
LPT Penetración Pesada

METEORIZACION

M1 Sana  
M2 Ligeramente meteorizada  
M3 Moderadamente meteorizada  
M4 Muy meteorizada  
M5 Extremadamente meteorizada

RESISTENCIA

Mpa  
R0 Extremadamente baja 0.25 - 1  
R1 Muy baja 1 - 5  
R2 Baja 5 - 25  
R3 Media 25 - 50  
R4 Alta 50 - 100  
R5 Muy alta 100 - 250  
R6 Extremadamente alta >250

FRACTURAMIENTO

t/m  
F1 Masiva < 1  
F2 Ligeramente fracturada 1 - 5  
F3 Moderadamente fracturada 6 - 10  
F4 Muy fracturada 11 - 20  
F5 Extremadamente fracturada > 20

DIAMETRO DE PERFORACIÓN

HQ ó NQ Perforación Diamantina (02 tubos)  
HQ3 ó NQ3 Perforación Diamantina (03 tubos)

TIPO DE MUESTRA

CS Muestra de Testigo  
ST Tubo Shelby  
SPT Cuchara partida  
LPT Cuchara partida

INDICE - BIENIWASKI (1989)

Tipo de roca

Calidad

Valor

I Muy buena 81 - 100  
II Buena 61 - 80  
III Regular 41 - 60  
IV Mala 21 - 40  
V Muy mala < 20

RQD

0 - 25 Muy pobre  
25 - 50 Pobre  
50 - 75 Regular  
75 - 90 Buena  
90 - 100 Excelente

TESIS : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO										Registro de Perforación: P.E. TUNEL 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
UBICACIÓN : TÚNEL 02 PORTAL DE ENTRADA										Hoja 6 de 12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
MÉTODO DE PERFORACIÓN : ROTATIVA										NORTE : 8 901 136																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
TIPO DE MÁQUINA : LONGYEAR 44										ESTE: 365 219																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
DIÁMETRO DE PERF. / PROF. (m) : HQ										ELEV: 2 214m.s.n.m.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
PROF. REVESTIMIENTO HW (m) : 10,00										AZIMUT : 036°																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
										INCLINACIÓN: +2°																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
										SUPERVISADO POR: CESEL S.A.C.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
										I PROF. TOTAL (m) : 120.10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
										NIVEL FREÁTICO (m): NE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table><thead><tr><th rowspan="3">Profundidad (m)</th><th rowspan="3">Agua de retorno de perforación (%)</th><th rowspan="3">N° Caja</th><th rowspan="3">N° Corrida</th><th rowspan="3">N° Fracturas / Corrida</th><th rowspan="3">Permeabilidad (cm/s)</th><th rowspan="3">Gráfica del Perfil Geológico</th><th rowspan="3">DESCRIPCION  SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas &lt; 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.  ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meteorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, caracetrísticas de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.</th><th rowspan="3">Recuperación (%)</th><th rowspan="3">Gráfica Recuperación</th><th rowspan="3">RQD (%)</th><th rowspan="3">Gráfica RQD</th><th colspan="4">ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO</th><th colspan="5">INDICES DE LA ROCA</th><th rowspan="3">COMENTARIOS</th></tr><tr><th rowspan="2">Tipo</th><th rowspan="2">Número</th><th rowspan="2">N° Golpes por intervalo</th><th rowspan="2">Valores SPT / LPT (N)</th><th rowspan="2">Meteorización</th><th rowspan="2">Resistencia</th><th rowspan="2">Fracturamiento</th><th colspan="2">RMR (1989)</th><th rowspan="2">Índice Q</th></tr><tr><th>Valoración ajustada a túnel</th><th>Clase</th></tr></thead><tbody><tr><td>50.2</td><td></td><td></td><td>42</td><td>14</td><td></td><td></td><td rowspan="4">Continúa tramo 48,25 - 55,15 m</td><td>100</td><td></td><td>64</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>M3</td><td>R4</td><td>F4</td><td>47</td><td>III</td><td>0.63</td><td></td></tr><tr><td>51</td><td></td><td></td><td>43</td><td>16</td><td></td><td></td><td>98</td><td></td><td>53</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>M3</td><td>R4</td><td>F4</td><td>44</td><td>III</td><td>0.40</td><td></td></tr><tr><td>51.8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>52</td><td></td><td></td><td>44</td><td>16</td><td></td><td></td><td>97</td><td></td><td>39</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>M3</td><td>R4</td><td>F4</td><td>41</td><td>III</td><td>0.23</td><td></td></tr><tr><td>53</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>54</td><td></td><td></td><td>45</td><td>15</td><td></td><td></td><td></td><td>98</td><td></td><td>69</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>M3</td><td>R4</td><td>F4</td><td>48</td><td>III</td><td>0.68</td><td></td></tr><tr><td>54.3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>55</td><td></td><td></td><td>46</td><td>18</td><td></td><td></td><td></td><td>97</td><td></td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>M3</td><td>R4 R3</td><td>F4</td><td>40</td><td>IV</td><td>0.22</td><td></td></tr><tr><td>56</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>55,15 - 55,90 m Esquito micáceo silicificado de color gris verdoso, muy meteorizado, resistencia alta, muy fracturado, ligeramente rugoso, relleno de 2 - 4 mm. Moderadamente oxidada.</td><td>96</td><td></td><td>11</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>M4</td><td>R4</td><td>F5</td><td>37</td><td>IV</td><td>0.14</td><td></td></tr><tr><td>56.1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>55,90 - 57,40 m Esquito micáceo de color gris verdoso, grano fino, ligeramente meteorizado, resistencia alta, moderamente fracturado, ligeramente rugoso, relleno de 2 - 4 mm. Moderadamente oxidada y bandeamiento de 1 - 2 cm.</td><td>98</td><td></td><td>52</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>M2</td><td>R4</td><td>F4</td><td>48</td><td>III</td><td>0.74</td><td></td></tr><tr><td>57</td><td></td><td></td><td>49</td><td>14</td><td></td><td></td><td></td><td>100</td><td></td><td>76</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>M2</td><td>R4 R5</td><td>F4</td><td>54</td><td>III</td><td>1.85</td><td></td></tr><tr><td>57.8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>57,40 - 62,20 m Gneis de color gris verdoso, grano fino, ligeramente meteorizado, resistencia muy alta, muy fracturado, ligeramente rugoso, relleno de 1 - 2 cm. Levemente oxidada , presenta oquedades rellenas por cuarzo de 2 mm de diámetro, leve oxidación.</td><td>98</td><td></td><td>15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>M2</td><td>R5</td><td>F4</td><td>45</td><td>III</td><td>0.46</td><td></td></tr><tr><td>58</td><td></td><td></td><td>50</td><td>14</td><td></td><td></td><td></td><td>100</td><td></td><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>M2</td><td>R5</td><td>F4</td><td>44</td><td>III</td><td>0.40</td><td></td></tr><tr><td>58.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>59</td><td></td><td></td><td>52</td><td>13</td><td></td><td></td><td></td><td>96</td><td></td><td>35</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>M2</td><td>R5</td><td>F4</td><td>47</td><td>III</td><td>0.58</td><td></td></tr><tr><td>60</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>																				Profundidad (m)	Agua de retorno de perforación (%)	N° Caja	N° Corrida	N° Fracturas / Corrida	Permeabilidad (cm/s)	Gráfica del Perfil Geológico	DESCRIPCION  SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas < 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.  ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meteorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, caracetrísticas de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.	Recuperación (%)	Gráfica Recuperación	RQD (%)	Gráfica RQD	ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO				INDICES DE LA ROCA					COMENTARIOS	Tipo	Número	N° Golpes por intervalo	Valores SPT / LPT (N)	Meteorización	Resistencia	Fracturamiento	RMR (1989)		Índice Q	Valoración ajustada a túnel	Clase	50.2			42	14			Continúa tramo 48,25 - 55,15 m	100		64							M3	R4	F4	47	III	0.63		51			43	16			98		53								M3	R4	F4	44	III	0.40		51.8																								52			44	16			97		39								M3	R4	F4	41	III	0.23		53																								54			45	15				98		69								M3	R4	F4	48	III	0.68		54.3																								55			46	18				97		31								M3	R4 R3	F4	40	IV	0.22		56							55,15 - 55,90 m Esquito micáceo silicificado de color gris verdoso, muy meteorizado, resistencia alta, muy fracturado, ligeramente rugoso, relleno de 2 - 4 mm. Moderadamente oxidada.	96		11								M4	R4	F5	37	IV	0.14		56.1							55,90 - 57,40 m Esquito micáceo de color gris verdoso, grano fino, ligeramente meteorizado, resistencia alta, moderamente fracturado, ligeramente rugoso, relleno de 2 - 4 mm. Moderadamente oxidada y bandeamiento de 1 - 2 cm.	98		52								M2	R4	F4	48	III	0.74		57			49	14				100		76								M2	R4 R5	F4	54	III	1.85		57.8							57,40 - 62,20 m Gneis de color gris verdoso, grano fino, ligeramente meteorizado, resistencia muy alta, muy fracturado, ligeramente rugoso, relleno de 1 - 2 cm. Levemente oxidada , presenta oquedades rellenas por cuarzo de 2 mm de diámetro, leve oxidación.	98		15								M2	R5	F4	45	III	0.46		58			50	14				100		0								M2	R5	F4	44	III	0.40		58.5																								59			52	13				96		35								M2	R5	F4	47	III	0.58		60																							
Profundidad (m)	Agua de retorno de perforación (%)	N° Caja	N° Corrida	N° Fracturas / Corrida	Permeabilidad (cm/s)	Gráfica del Perfil Geológico	DESCRIPCION  SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas < 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.  ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meteorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, caracetrísticas de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.	Recuperación (%)	Gráfica Recuperación	RQD (%)	Gráfica RQD	ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO				INDICES DE LA ROCA																COMENTARIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
												Tipo	Número	N° Golpes por intervalo	Valores SPT / LPT (N)	Meteorización	Resistencia	Fracturamiento	RMR (1989)														Índice Q																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
																			Valoración ajustada a túnel	Clase																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
50.2			42	14			Continúa tramo 48,25 - 55,15 m	100		64							M3	R4	F4	47	III	0.63																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
51			43	16				98		53								M3	R4	F4	44	III	0.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
51.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
52			44	16				97		39								M3	R4	F4	41	III	0.23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
53																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
54			45	15				98		69								M3	R4	F4	48	III	0.68																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
54.3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
55			46	18				97		31								M3	R4 R3	F4	40	IV	0.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
56							55,15 - 55,90 m Esquito micáceo silicificado de color gris verdoso, muy meteorizado, resistencia alta, muy fracturado, ligeramente rugoso, relleno de 2 - 4 mm. Moderadamente oxidada.	96		11								M4	R4	F5	37	IV	0.14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
56.1							55,90 - 57,40 m Esquito micáceo de color gris verdoso, grano fino, ligeramente meteorizado, resistencia alta, moderamente fracturado, ligeramente rugoso, relleno de 2 - 4 mm. Moderadamente oxidada y bandeamiento de 1 - 2 cm.	98		52								M2	R4	F4	48	III	0.74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
57			49	14				100		76								M2	R4 R5	F4	54	III	1.85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
57.8							57,40 - 62,20 m Gneis de color gris verdoso, grano fino, ligeramente meteorizado, resistencia muy alta, muy fracturado, ligeramente rugoso, relleno de 1 - 2 cm. Levemente oxidada , presenta oquedades rellenas por cuarzo de 2 mm de diámetro, leve oxidación.	98		15								M2	R5	F4	45	III	0.46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
58			50	14				100		0								M2	R5	F4	44	III	0.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
58.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
59			52	13				96		35								M2	R5	F4	47	III	0.58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
LEYENDA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
<table><tr><th colspan="2">ENSAYOS IN SITU EN SUELOS</th></tr><tr><td>q<sub>u</sub></td><td>Penetrómetro de mano</td></tr><tr><td>T</td><td>Veleta</td></tr><tr><td>CPT</td><td>Penetración Cono Peck</td></tr><tr><td>SPT</td><td>Penetración Estándar</td></tr><tr><td>LPT</td><td>Penetración Pesada</td></tr></table>					ENSAYOS IN SITU EN SUELOS		q <sub>u</sub>	Penetrómetro de mano	T	Veleta	CPT	Penetración Cono Peck	SPT	Penetración Estándar	LPT	Penetración Pesada	<table><tr><th colspan="2">METEORIZACION</th></tr><tr><td>M1</td><td>Sana</td></tr><tr><td>M2</td><td>Ligeramente meteorizada</td></tr><tr><td>M3</td><td>Moderadamente meteorizada</td></tr><tr><td>M4</td><td>Muy meteorizada</td></tr><tr><td>M5</td><td>Extremadamente meteorizada</td></tr></table>					METEORIZACION		M1	Sana	M2	Ligeramente meteorizada	M3	Moderadamente meteorizada	M4	Muy meteorizada	M5	Extremadamente meteorizada	<table><tr><th colspan="2">RESISTENCIA</th><th>Mpa</th></tr><tr><td>R0</td><td>Extremadamente baja</td><td>0.25 - 1</td></tr><tr><td>R1</td><td>Muy baja</td><td>1 - 5</td></tr><tr><td>R2</td><td>Baja</td><td>5 - 25</td></tr><tr><td>R3</td><td>Media</td><td>25 - 50</td></tr><tr><td>R4</td><td>Alta</td><td>50 - 100</td></tr><tr><td>R5</td><td>Muy alta</td><td>100 - 250</td></tr><tr><td>R6</td><td>Extremadamente alta</td><td>&gt;250</td></tr></table>					RESISTENCIA		Mpa	R0	Extremadamente baja	0.25 - 1	R1	Muy baja	1 - 5	R2	Baja	5 - 25	R3	Media	25 - 50	R4	Alta	50 - 100	R5	Muy alta	100 - 250	R6	Extremadamente alta	>250	<table><tr><th colspan="2">FRACTURAMIENTO</th><th>t/m</th></tr><tr><td>F1</td><td>Masiva</td><td>&lt; 1</td></tr><tr><td>F2</td><td>Ligeramente fracturada</td><td>1 - 5</td></tr><tr><td>F3</td><td>Moderadamente fracturada</td><td>6 - 10</td></tr><tr><td>F4</td><td>Muy fracturada</td><td>11 - 20</td></tr><tr><td>F5</td><td>Extremadamente fracturada</td><td>&gt; 20</td></tr></table>					FRACTURAMIENTO		t/m	F1	Masiva	< 1	F2	Ligeramente fracturada	1 - 5	F3	Moderadamente fracturada	6 - 10	F4	Muy fracturada	11 - 20	F5	Extremadamente fracturada	> 20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
ENSAYOS IN SITU EN SUELOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
q <sub>u</sub>	Penetrómetro de mano																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
T	Veleta																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
CPT	Penetración Cono Peck																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
SPT	Penetración Estándar																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
LPT	Penetración Pesada																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
METEORIZACION																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
M1	Sana																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
M2	Ligeramente meteorizada																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
M3	Moderadamente meteorizada																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
M4	Muy meteorizada																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
M5	Extremadamente meteorizada																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
RESISTENCIA		Mpa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
R0	Extremadamente baja	0.25 - 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
R1	Muy baja	1 - 5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
R2	Baja	5 - 25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
R3	Media	25 - 50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
R4	Alta	50 - 100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
R5	Muy alta	100 - 250																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
R6	Extremadamente alta	>250																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
FRACTURAMIENTO		t/m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
F1	Masiva	< 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
F2	Ligeramente fracturada	1 - 5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
F3	Moderadamente fracturada	6 - 10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
F4	Muy fracturada	11 - 20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
F5	Extremadamente fracturada	> 20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
<table><tr><th colspan="2">DIAMETRO DE PERFORACIÓN</th></tr><tr><td>HQ ó NQ</td><td>Perforación Diamantina (02 tubos)</td></tr><tr><td>HQ3 ó NQ3</td><td>Perforación Diamantina (03 tubos)</td></tr></table>					DIAMETRO DE PERFORACIÓN		HQ ó NQ	Perforación Diamantina (02 tubos)	HQ3 ó NQ3	Perforación Diamantina (03 tubos)	<table><tr><th colspan="2">TIPO DE MUESTRA</th></tr><tr><td>CS</td><td>Muestra de Testigo</td></tr><tr><td>ST</td><td>Tubo Shelby</td></tr><tr><td>SPT</td><td>Cuchara partida</td></tr><tr><td>LPT</td><td>Cuchara partida</td></tr></table>					TIPO DE MUESTRA		CS	Muestra de Testigo	ST	Tubo Shelby	SPT	Cuchara partida	LPT	Cuchara partida	<table><tr><th colspan="3">INDICE - BIENIWASKI (1989)</th></tr><tr><th>Tipo de roca</th><th>Calidad</th><th>Valor</th></tr><tr><td>I</td><td>Muy buena</td><td>81 - 100</td></tr><tr><td>II</td><td>Buena</td><td>61 - 80</td></tr><tr><td>III</td><td>Regular</td><td>41 - 60</td></tr><tr><td>IV</td><td>Mala</td><td>21 - 40</td></tr><tr><td>V</td><td>Muy mala</td><td>&lt; 20</td></tr></table>					INDICE - BIENIWASKI (1989)			Tipo de roca	Calidad	Valor	I	Muy buena	81 - 100	II	Buena	61 - 80	III	Regular	41 - 60	IV	Mala	21 - 40	V	Muy mala	< 20	<table><tr><th colspan="2">RQD</th></tr><tr><td>0 - 25</td><td>Muy pobre</td></tr><tr><td>25 - 50</td><td>Pobre</td></tr><tr><td>50 - 75</td><td>Regular</td></tr><tr><td>75 - 90</td><td>Buena</td></tr><tr><td>90 - 100</td><td>Excelente</td></tr></table>					RQD		0 - 25	Muy pobre	25 - 50	Pobre	50 - 75	Regular	75 - 90	Buena	90 - 100	Excelente																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
DIAMETRO DE PERFORACIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
HQ ó NQ	Perforación Diamantina (02 tubos)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
HQ3 ó NQ3	Perforación Diamantina (03 tubos)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
TIPO DE MUESTRA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
CS	Muestra de Testigo																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
ST	Tubo Shelby																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
SPT	Cuchara partida																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
LPT	Cuchara partida																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
INDICE - BIENIWASKI (1989)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Tipo de roca	Calidad	Valor																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
I	Muy buena	81 - 100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
II	Buena	61 - 80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
III	Regular	41 - 60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
IV	Mala	21 - 40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
V	Muy mala	< 20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
RQD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
0 - 25	Muy pobre																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
25 - 50	Pobre																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
50 - 75	Regular																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
75 - 90	Buena																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
90 - 100	Excelente																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												



MÉTODO DE PERFORACIÓN : ROTATIVA

TIPO DE MÁQUINA : LONGYEAR 44

DIÁMETRO DE PERF. / PROF. (m) : HQ

PROF. REVESTIMIENTO HW (m) : 10,00

NORTE : 8 901 136

ESTE: 365 219

ELEV: 2 214m.s.n.m.

AZIMUT : 036°

INCLINACIÓN: +2°

PROF. TOTAL (m) : 120.10

SUPERVISADO POR: CESEL S.A.C.

NIVEL FREÁTICO (m): NE

Profundidad (m)	Agua de retorno de perforación (%)	N° Caja	N° Corrida	N° Fracturas / Corrida	Permeabilidad (cm/s)	Gráfica del Perfil Geológico	DESCRIPCION  SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas < 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.  ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meteorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, caracetrísticas de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.	Recuperación (%)	Gráfica Recuperación	RQD (%)	Gráfica RQD	ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO				INDICES DE LA ROCA					COMENTARIOS	
												Tipo	Número	N° Golpes por intervalo	Valores SPT / LPT (N)	Meteorización	Resistencia	Fracturamiento	RMR (1989)			Índice Q
			52	13		Continúa tramo 57,40 - 62,20 m		96		35						M2	R5	F4	47	III	0.58	
			53	10				98		37							M2	R5	F3	47	III	0.58
			54	8		62,20 - 63,80 m  Gneis de color gris oscuro, grano fino, ligeramente meteorizado, resistencia muy alta, moderadamente fracturado, ligeramente rugoso, relleno de 1 - 2 cm. Levemente oxidada , presenta oquedades rellenas por cuarzo de 2 mm de diámetro,		98		66						M2	R5	F3	52	III	1.26	
			55	24		63,80 - 64,00 m Esquito micáceo, gris verdoso, grano fino, muy meteorizado, resistencia media, extremadamente fracturado, sin relleno ni apertura.		98		56						M4	R4	F5	52	III	1.26	
			56	14		64,00 -65,95 m  Esquito micáceo, gris verdoso, grano fino, moderadamente meteorizado, resistencia alta, muy fracturado, rugosa, relleno de cuarzo de 1 - 4 cm. Presenta oxidación.		100		82						M3	R4	F4	55	III	2.00	
			57	7		65,95 - 67,80 m  Esquito micáceo, gris verdoso, grano fino, levemente meteorizado, resistencia alta, moderamente fracturado, rugosa, relleno de cuarzo de 1 - 2 cm. Presenta oxidación.		98		94						M2	R4	F3	58	III	3.41	
			58	9		67,80 - 76,90 m  Esquito micáceo, gris, grano fino, moderadamente meteorizado, resistencia alta, muy fracturado, ligeramente rugosa, relleno de cuarzo de 1 - 2 cm. Presenta fuerte oxidación y bandeamiento de 1 - 3 cm.		98		38						M3	R4	F3	43	III	0.32	
			59	8				98		74						M3	R4	F3	50	III	1.00	

LEYENDA

ENSAYOS IN SITU EN SUELOS	
q <sub>u</sub>	Penetrómetro de mano
T	Veleta
CPT	Penetración Cono Peck
SPT	Penetración Estándar
LPT	Penetración Pesada

METEORIZACION	
M1	Sana
M2	Ligeramente meteorizada
M3	Moderadamente meteorizada
M4	Muy meteorizada
M5	Extremadamente meteorizada

RESISTENCIA		Mpa
R0	Extremadamente baja	0.25 - 1
R1	Muy baja	1 - 5
R2	Baja	5 - 25
R3	Media	25 - 50
R4	Alta	50 - 100
R5	Muy alta	100 - 250
R6	Extremadamente alta	>250

FRACTURAMIENTO		f/m
F1	Masiva	< 1
F2	Ligeramente fracturada	1 - 5
F3	Moderadamente fracturada	6 - 10
F4	Muy fracturada	11 - 20
F5	Extremadamente fracturada	> 20

DIAMETRO DE PERFORACIÓN	
HQ ó NQ	Perforación Diamantina (02 tubos)
HQ3 ó NQ3	Perforación Diamantina (03 tubos)

TIPO DE MUESTRA	
CS	Muestra de Testigo
ST	Tubo Shelby
SPT	Cuchara partida
LPT	Cuchara partida

INDICE - BIENIWASKI (1989)		
Tipo de roca	Calidad	Valor
I	Muy buena	81 - 100
II	Buena	61 - 80
III	Regular	41 - 60
IV	Mala	21 - 40
V	Muy mala	< 20

RQD	
0 - 25	Muy pobre
25 - 50	Pobre
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Excelente



TESIS : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

Registro de Perforación: P.S. TUNEL 2

UBICACIÓN : TÚNEL 02 PORTAL DE SALIDA EVITAMIENTO

Hoja 1 de 10

MÉTODO DE PERFORACIÓN : ROTATIVA

TIPO DE MÁQUINA : LONGYEAR 44

DIÁMETRO DE PERF. / PROF. (m) : HQ

PROF. REVESTIMIENTO HW (m) : 10,00

NORTE : 365 439

ESTE: 8 901 440

ELEV: 2 229m.s.n.m.

AZIMUT : 216°

INCLINACIÓN: -2°

PROF. TOTAL (m) : 100.00

SUPERVISADO POR: CESEL S.A.C.

NIVEL FREÁTICO (m): NE

Profundidad (m)	Agua de retorno de perforación (%)	N° Caja	N° Corrida	N° Fracturas / Corrida	Permeabilidad (cm/s)	Gráfica del Perfil Geológico	DESCRIPCION	Recuperación (%)	Gráfica Recuperación	RQD (%)	Gráfica RQD	ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO				INDICES DE LA ROCA						COMENTARIOS
							SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas < 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.					Tipo	Número	N° Golpes por Intervalo	Valores SPT / LPT (N)	Meteorización	Resistencia	Fracturamiento	RMR (1989)		Índice Q	
																			ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meterorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, características de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.	Valoración ajustada a túnel		
0.5  1  1.3  2  2.3  3  3.3  4  4.2  5  5.2  6  6.5  7  7.6  8   8.7  9   10			1	25			0,00 - 0,50 m Esquisto micáceo, gris verdoso, muy meteorizado, resistencia alta, muy fracturado, ligeramente rugoso, relleno de óxidos,muy buena foliación.	94		0						M4	R4	F5	34	IV	0.09	
			2	18			0,50 - 1,00 m Esquisto micáceo , gris verdoso, grano fino, moderadamente meteorizado , resistencia alta, muy fracturado, fracturas rellenas con hasta 05 mm de cuarzo, ligeramente oxidado en las fracturas. Presencia de venillas de cuarzo	96		75						M3	R4	F4	48	III	0.74	
			3	5			1,00 - 3,30 m  Esquisto micáceo , gris verdoso, grano fino, muy meteorizado, resistencia alta, muy fracturado, relleno de óxidos de 1 a 3 mm en las fracturas, existe oquedades en sectores, persistencia por apertura media, muy buena foliación.	97		38						M4	R4	F2 F1	40	IV	0.20	
			4	20				97		11						M4	R4	F4 F5	36	IV	0.12	
			5	16				95		47						M4	R4	F4	40	IV	0.20	
			6	6				96		79						M4	R5	F4	49	III	0.86	
			7	10			97		61						M4	R4	F3 F4	45	III	0.46		
			8	13			95		41						M4	R4	F4	41	III	0.25		
			9	14			97		49						M3	R5	F4	45	III	0.43		
			10	12			97		55						M3	R5	F4	49	III	0.79		
			11	14			8,70 - 12,40 m Esquisto micáceo , gris verdoso, grano fino, meteorización media, resistencia alta, moderadamente fracturado, rugosa, relleno de óxidos de 2 a 4 mm en las fracturas y en partes venillas de cuarzo, muy buena foliación.	100		81					M3	R4	F4	56	III	2.33		

LEYENDA

<b>ENSAYOS IN SITU EN SUELOS</b> q <sub>u</sub> Penetrómetro de mano T Veleta OPT Penetración Cono Peck SPT Penetración Estándar LPT Penetración Pesada	<b>METEORIZACION</b> <b>M1</b> Sana <b>M2</b> Ligeramente meteorizada <b>M3</b> Moderadamente meteorizada <b>M4</b> Muy meteorizada <b>M5</b> Extremadamente meteorizada	<b>RESISTENCIA</b> <b>R0</b> Extremadamente baja <b>R1</b> Muy baja <b>R2</b> Baja <b>R3</b> Media <b>R4</b> Alta <b>R5</b> Muy alta <b>R6</b> Extremadamente alta	<b>FRACTURAMIENTO</b> <b>F1</b> Masiva <b>F2</b> Ligeramente fracturada <b>F3</b> Moderadamente fracturada <b>F4</b> Muy fracturada <b>F5</b> Extremadamente fracturada
<b>DIAMETRO DE PERFORACION</b> HQ ó NQ Perforación Diamantina (02 tubos) HQ3 ó NQ3 Perforación Diamantina (03 tubos)	<b>TIPO DE MUESTRA</b> CS Muestra de Testigo ST Tubo Shelby SPT Cuchara partida LPT Cuchara partida	<b>INDICE - BIENIWASKI (1989)</b> <b>Tipo de roca</b> <b>Calidad</b> <b>Valor</b> I Muy buena II Buena III Regular IV Mala V Muy mala	<b>RQD</b> 0 - 25 Muy pobre 25 - 50 Pobre 50 - 75 Regular 75 - 90 Buena 90 - 100 Excelente



TESIS : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

Registro de Perforación: P.S. TUNEL 2

UBICACIÓN : TÚNEL 02 PORTAL DE SALIDA EVITAMIENTO

Hoja 5 de 10

MÉTODO DE PERFORACIÓN : ROTATIVA

TIPO DE MÁQUINA : LONGYEAR 44

DIÁMETRO DE PERF. / PROF. (m) : HQ

PROF. REVESTIMIENTO HW (m) : 10,00

NORTE : 365 439

ESTE: 8 901 440

ELEV: 2 229m.s.n.m.

AZIMUT : 216°

INCLINACIÓN: -2°

PROF. TOTAL (m) : 100.00

SUPERVISADO POR: CESEL S.A.C.

NIVEL FREÁTICO (m): NE

Profundidad (m)	Agua de retorno de perforación (%)	N° Caja	N° Corrida	N° Fracturas / Corrida	Permeabilidad (cm/s)	Gráfica del Perfil Geológico	DESCRIPCION	Recuperación (%)	Gráfica Recuperación	RQD (%)	Gráfica RQD	ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO				INDICES DE LA ROCA						COMENTARIOS
							SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas < 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.					Tipo	Número	N° Golpes por intervalo	Valores SPT / LPT (N)	Meteorización	Resistencia	Fracturamiento	RMR (1989)		Índice Q	
																			ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meterorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, caracetrísticas de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.	Valuación ajustada a túnel		
41 41.3  42  42.7 43  44 44.3  45  45.90 46  47  47.5  48  48.5  49  49.5  50			33	24			Continúa tramo 38,00 - 40,60 m	97		28						M4	R2	F5	32	IV	0.06	
			34	16			40,60 - 41,30 m Esquisto micáceo, color gris verdoso, grano fino, muy fracturada, muy fracturado, rugosa, pátinas de óxido de hierro, muy buena foliación, RQD = 0%	97		0						M4	R2	F4	30	IV	0.05	
			35	12			41,30 - 44,30 m  Esquisto micáceo, color gris blanquecino y gris verdoso, grano fino y micáceo, media a levemente meteorizado, resistencia alta, rugosa, rellenos en fracturas 01 -03 mm con óxidos de hierro y sectores con bandeamiento y venillas de cuarzo, muy buena foliación.	97		49						M3	R4	F4	43	III	0.32	
			36	8				98		74						M2	R4	F3	57	III	2.93	
			37	15			44,30 - 48,00 m  Esquisto micáceo, color gris rojizo, grano fino, moderadamente meteorizado, resistencia alta, moderadamente fracturado, rellenos en fracturas 02 -04 mm con óxidos de hierro, bandeamiento de 02 a 03 mm de cuarzo, seca. Muy foliado	98		45						M3	R4	F4	42	III	0.27	
			38	13				99		62						M3	R3	F4	54	III	1.85	
			39	9			48,00 - 52,10 m  Esquisto micáceo, color gris arenoso, grano fino, poco meteorizado , resistencia alta, moderamente fracturado, rellenos en fracturas con óxidos de hierro, bandeamiento y núcleos de hasta 02 cm de diámetro de cuarzo, seco, rugoso. Muy foliado y con bandeamineto en desigual dirección.	98		70						M2	R4 R3	F3	58	III	3.41	
			40	10				100		71						M2	R4	F3 F4	55	III	2.15	
			41	8				100		84						M2	R3	F3	56	III	2.33	

LEYENDA

<b>ENSAYOS IN SITU EN SUELOS</b> q <sub>u</sub> Penetrómetro de mano T Veleta CPT Penetración Cono Peck SPT Penetración Estándar LPT Penetración Pesada	<b>METEORIZACION</b> M1 Sana M2 Ligeramente meteorizada M3 Moderadamente meteorizada M4 Muy meteorizada M5 Extremadamente meteorizada	<b>RESISTENCIA</b> R0 Extremadamente baja R1 Muy baja R2 Baja R3 Media R4 Alta R5 Muy alta R6 Extremadamente alta	<b>FRACTURAMIENTO</b> F1 Masiva F2 Ligeramente fracturada F3 Moderadamente fracturada F4 Muy fracturada F5 Extremadamente fracturada
<b>DIÁMETRO DE PERFORACIÓN</b> HQ ó NQ Perforación Diamantina (02 tubos) HQ3 ó NQ3 Perforación Diamantina (03 tubos)	<b>TIPO DE MUESTRA</b> CS Muestra de Testigo ST Tubo Shelby SPT Cuchara partida LPT Cuchara partida	<b>INDICE - BIENIWASKI (1989)</b> Tipo de roca I Muy buena II Buena III Regular IV Mala V Muy mala	<b>RQD</b> 0 - 25 Muy pobre 25 - 50 Pobre 50 - 75 Regular 75 - 90 Buena 90 - 100 Excelente

TESIS : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

Registro de Perforación: P.S. TUNEL 2

UBICACIÓN : TÚNEL 02 PORTAL DE SALIDA EVITAMIENTO

Hoja 6 de 10

MÉTODO DE PERFORACIÓN : ROTATIVA

TIPO DE MÁQUINA : LONGYEAR 44

DIÁMETRO DE PERF. / PROF. (m) : HQ

PROF. REVESTIMIENTO HW (m) : 10,00

NORTE : 365 439

AZIMUT : 216°

INCLINACIÓN: -2°

PROF. TOTAL (m) : 100.00

ESTE: 8 901 440

ELEV: 2 229m.s.n.m.

SUPERVISADO POR: CESEL S.A.C.

NIVEL FREÁTICO (m): NE

Profundidad (m)	Agua de retorno de perforación (%)	N° Caja	N° Corrida	N° Fracturas / Corrida	Permeabilidad (cm/s)	Gráfica del Perfil Geológico	DESCRIPCION	Recuperación (%)	Gráfica Recuperación	RQD (%)	Gráfica RQD	ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO				INDICES DE LA ROCA						COMENTARIOS
							SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas < 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.					Tipo	Número	N° Golpes por intervalo	Valores SPT / LPT (N)	Meteorización	Resistencia	Fracturamiento	RMR (1989)		Índice Q	
																			ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meterorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, características de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.	Valuación ajustada a túnel		
50.7			41	8			Continúa tramo 48,00 - 52,10 m	100		84					M2	R4	F3	56	III	2.33		
51			42	12				90		49					M2	R4	F4	47	III	0.58		
51.9			43	13			52,10 - 55,10 m	97	69					M2	R3	F4	52	III	1.26			
52																						
53			44	23			Esquisto con pocas micas,color gris y marrón, grano fino, mediamente meteorizado, resistencia media, moderamente meteorizado, relleno 02 - 04 mm de óxidos de hierro con intercalaciones de cuarzo, seco, rugoso. Bandeamiento 02 a 03 mm intercalado con oxidacón de hierro.	97	48					M4	R3	F4	40	IV	0.20			
53.5																						
54			45	18			55,10 - 56,10 m	96	17					M4	R3	F5	40	IV	0.20	Este tramo tiene tendencia a ser gneis, el bandeamiento se compara en desigual dirección		
55			46	20			56,10 - 56,80 m	98	20					M4	R3	F4	35	IV	0.10			
55.1																						
56			47	13			56,80 - 66,10 m	98	36					M3	R3	F4	41	III	0.23			
56.1																						
57			48	12			Esquisto areniscoso con poca mica, color gris verdoso, grano medio a fino, leve a moderada meteorización, resistencia media, muy fracturado, relleno siguiendo bandeamiento desde 2 - 10 mm de cuarzo y fracturamiento de 02 -03 mm de óxido de hierro. Bandeamiento y menor foliación entre 02 - 10 mm de espesor.	98	50					M3	R3	F4	44	III	0.40			
57.1																						
58			49	18				96	38						M4	R4	F4	39	IV	0.17		
58.3																						
59																						
59.9																						
60																						

LEYENDA

<b>ENSAYOS IN SITU EN SUELOS</b> qu Penetrómetro de mano T Veleta CPT Penetración Cono Peck SPT Penetración Estándar LPT Penetración Pesada	<b>METEORIZACION</b> M1 Sana M2 Ligeramente meteorizada M3 Moderadamente meteorizada M4 Muy meteorizada M5 Extremadamente meteorizada	<b>RESISTENCIA</b> R0 Extremadamente baja R1 Muy baja R2 Baja R3 Media R4 Alta R5 Muy alta R6 Extremadamente alta	<b>FRACTURAMIENTO</b> F1 Masiva F2 Ligeramente fracturada F3 Moderadamente fracturada F4 Muy fracturada F5 Extremadamente fracturada
<b>DIAMETRO DE PERFORACION</b> HQ ó NQ Perforación Diamantina (02 tubos) HQ3 ó NQ3 Perforación Diamantina (03 tubos)	<b>TIPO DE MUESTRA</b> CS Muestra de Testigo ST Tubo Shelby SPT Cuchara partida LPT Cuchara partida	<b>INDICE - BIENIWASKI (1989)</b> Tipo de rocaCalidadValor I Muy buena81 - 100 II Buena61 - 80 III Regular41 - 60 IV Mala21 - 40 V Muy mala< 20	<b>RQD</b> 0 - 25 Muy pobre 25 - 50 Pobre 50 - 75 Regular 75 - 90 Buena 90 - 100 Excelente

TESIS : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO										Registro de Perforación: P.S. TUNEL 2																																											
UBICACIÓN : TÚNEL 02 PORTAL DE SALIDA EVITAMIENTO										Hoja 9 de 10																																											
MÉTODO DE PERFORACIÓN : ROTATIVA										NORTE : 365 439 ESTE: 8 901 440 ELEV: 2 229m.s.n.m.																																											
TIPO DE MÁQUINA : LONGYEAR 44										AZIMUT : 216°																																											
DIÁMETRO DE PERF. / PROF. (m) : HQ										INCLINACIÓN: -2° SUPERVISADO POR: CESEL S.A.C.																																											
PROF. REVESTIMIENTO HW (m) : 10,00										PROF. TOTAL (m) : 100.00 NIVEL FREÁTICO (m): NE																																											
<table><tr><th rowspan="3">Profundidad (m)</th><th rowspan="3">Agua de retorno de perforación (%)</th><th rowspan="3">N° Caja</th><th rowspan="3">N° Corrida</th><th rowspan="3">N° Fracturas / Corrida</th><th rowspan="3">Permeabilidad (cm/s)</th><th rowspan="3">Gráfica del Perfil Geológico</th><th rowspan="3">DESCRIPCION  SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas &lt; 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.  ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meteorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, características de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.</th><th rowspan="3">Recuperación (%)</th><th rowspan="3">Gráfica Recuperación</th><th rowspan="3">RQD (%)</th><th rowspan="3">Gráfica RQD</th><th colspan="4">ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO</th><th colspan="5">INDICES DE LA ROCA</th><th rowspan="3">COMENTARIOS</th></tr><tr><th rowspan="2">Tipo</th><th rowspan="2">Número</th><th rowspan="2">N° Golpes por intervalo</th><th rowspan="2">Valores SPT / LPT (N)</th><th rowspan="2">Meteorización</th><th rowspan="2">Resistencia</th><th rowspan="2">Fracturamiento</th><th colspan="2">RMR (1989)</th><th rowspan="2">Índice Q</th></tr><tr><th>Valoración ajustada a túnel</th><th>Clase</th></tr></table>																				Profundidad (m)	Agua de retorno de perforación (%)	N° Caja	N° Corrida	N° Fracturas / Corrida	Permeabilidad (cm/s)	Gráfica del Perfil Geológico	DESCRIPCION  SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas < 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.  ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meteorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, características de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.	Recuperación (%)	Gráfica Recuperación	RQD (%)	Gráfica RQD	ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO				INDICES DE LA ROCA					COMENTARIOS	Tipo	Número	N° Golpes por intervalo	Valores SPT / LPT (N)	Meteorización	Resistencia	Fracturamiento	RMR (1989)		Índice Q	Valoración ajustada a túnel	Clase
Profundidad (m)	Agua de retorno de perforación (%)	N° Caja	N° Corrida	N° Fracturas / Corrida	Permeabilidad (cm/s)	Gráfica del Perfil Geológico	DESCRIPCION  SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas < 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.  ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meteorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, características de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.	Recuperación (%)	Gráfica Recuperación	RQD (%)	Gráfica RQD	ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO				INDICES DE LA ROCA																COMENTARIOS																					
												Tipo	Número	N° Golpes por intervalo	Valores SPT / LPT (N)	Meteorización	Resistencia	Fracturamiento	RMR (1989)														Índice Q																				
																			Valoración ajustada a túnel	Clase																																	
81			65	12			Continua tramo 76,50 - 81,50 m	97		66					M3	R1	F4	46	III	0.50																																	
82			66	21				81,50 - 82,40 m Esquisto micáceo con menor porcentaje de micas que la anterior corrida, extremadamente fracturada, color gris verdoso a gris marrón, fuertemente meteorizado, resistencia baja, relleno de 02 - 03 mm de óxidos de hierro, sin cuarzo.	99		37					M4	R1	F5	37	IV		0.13																															
82.6																																																					
83			67	9			82,40 - 88,00 m Esquisto arenisco con partes de esquisto micáceo con menor porcentaje de biotita y fracturas rellenas de yeso, color gris oscuro a gris verdoso, levemente meteorizado con sectores de media meteorización , resistencia media, moderadamente fracturada, relleno 02 - 05 de óxido de hierro y ocasional bandeamiento de 01 - 04 mm de cuarzo. 84,40 - 84,55 m ; 85,60 - 85,80 m con mayor fracturamiento	97		79					M2	R2	F3	51	III	1.17																																	
84																																																					
84.2																																																					
85			68	25			88,00 - 92,00 m Esquisto micáceo en sectores arenisco, color gris verdoso, grano fino y grano medio, leve meteorización , resistencia alta, ligeramente fracturado, 02 -10 mm de cuarzo al inicio del tramo, rugoso, seco. Mayor fracturamiento 89,00 -89,10 m y 90,80 - 98,00 m .Foliación y bandeamiento al inicio.	97		48					M4	R3	F5	38	IV	0.15																																	
85.8																																																					
86			69	8				97		87					M2	R3	F3	53	III	1.58																																	
87																																																					
87.4																																																					
88			70	14				98		79					M2	R5	F2	53	III	1.58																																	
89																																																					
90			71	9				98		76					M2	R5	F2	58	56	III																																	

LEYENDA																																																																																																																													
	ENSAYOS IN SITU EN SUELOS			---------------------------	-----------------------		qu	Penetrómetro de mano		T	Veleta		CPT	Penetración Cono Peck		SPT	Penetración Estándar		LPT	Penetración Pesada							METEORIZACION			---------------	----------------------------		M1	Sana		M2	Ligeramente meteorizada		M3	Moderadamente meteorizada		M4	Muy meteorizada		M5	Extremadamente meteorizada							RESISTENCIA		Mpa		-------------	---------------------	-----------		R0	Extremadamente baja	0.25 - 1		R1	Muy baja	1 - 5		R2	Baja	5 - 25		R3	Media	25 - 50		R4	Alta	50 - 100		R5	Muy alta	100 - 250		R6	Extremadamente alta	>250							FRACTURAMIENTO		f/m		----------------	---------------------------	---------		F1	Masiva	< 1		F2	Ligeramente fracturada	1 - 5		F3	Moderadamente fracturada	6 - 10		F4	Muy fracturada	11 - 20		F5	Extremadamente fracturada	> 20					
	DIÁMETRO DE PERFORACION			-------------------------	-----------------------------------		HQ ó NQ	Perforación Diamantina (02 tubos)		HQ3 ó NQ3	Perforación Diamantina (03 tubos)							TIPO DE MUESTRA			-----------------	--------------------		CS	Muestra de Testigo		ST	Tubo Shelby		SPT	Cuchara partida		LPT	Cuchara partida							INDICE - BIENIWASKI (1989)				----------------------------	-----------	----------		Tipo de roca	Calidad	Valor		I	Muy buena	81 - 100		II	Buena	61 - 80		III	Regular	41 - 60		IV	Mala	21 - 40		V	Muy mala	< 20							RQD			----------	-----------		0 - 25	Muy pobre		25 - 50	Pobre		50 - 75	Regular		75 - 90	Buena		90 - 100	Excelente																												



TESIS : ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DOS DE LA VÍA EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

Registro de Perforación: P.S. TUNEL 2

UBICACIÓN : TÚNEL 02 PORTAL DE SALIDA EVITAMIENTO

Hoja 10 de 10

MÉTODO DE PERFORACIÓN : ROTATIVA

TIPO DE MÁQUINA : LONGYEAR 44

DIÁMETRO DE PERF. / PROF. (m) : HQ

PROF. REVESTIMIENTO HW (m) : 10,00

NORTE : 365 439

AZIMUT : 216°

INCLINACIÓN: -2°

PROF. TOTAL (m) : 100.00

ESTE: 8 901 440

ELEV: 2 229m.s.n.m.

SUPERVISADO POR: CESEL S.A.C.

NIVEL FREÁTICO (m): NE

Profundidad (m)	Agua de retorno de perforación (%)	N° Caja	N° Corrida	N° Fracturas / Corrida	Permeabilidad (cm/s)	Gráfica del Perfil Geológico	DESCRIPCION	Recuperación (%)	Gráfica Recuperación	RQD (%)	Gráfica RQD	ENSAYOS EN SUELOS / MUESTREO				INDICES DE LA			ROCA		COMENTARIOS		
							SUELOS: Nombre (SUCS), plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % bolos y bloques, % partículas < 3". Otros: estructura, angularidad, tamaño máximo, petrología de las partículas, origen.					ROCA: Nombre, color, tamaño del grano, meterorización, resistencia, fracturamiento. Otros: forma de la fractura, caracetrísticas de las fracturas (rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno), alteración hidrotermal, otros.	Tipo	Número	N° Golpes por intervalo	Valores SPT / LPT (N)	Meteorización	Resistencia	Fracturamiento	RMR (1989)		Índice Q	
																				Valuación ajustada a túnel			Clase
90.3			71	9			98		76						M2	R2	F3	56	III	2.51			
90.8			72	5			92		70						M2	R1	F2 F3	51	III	1.17			
91			73	8			100		56						M2	R2	F3	51	III	1.08			
92																							
92.4			74	15			98		69						M2	R5	F3	54	III	1.71			
93																							
94			75	6			99		87						M2	R5	F3	59	III	3.98			
95																							
95.6			76	12			97		53						M2	R5	F2	61	II	5.41			
96																							
97			77	6			94		79						M2	R5	F2	56	III	2.51			
97.1																							
98			78	12			97		63						M2	R5	F2	52	III	1.36			
98.1																							
99			79	5			97		94						M2	R5	F2	60	III	4.64			
99.1																							
100																							

LEYENDA

<b>ENSAYOS IN SITU EN SUELOS</b> qu Penetrómetro de mano T Veleta CPT Penetración Cono Peck SPT Penetración Estándar LPT Penetración Pesada	<b>METEORIZACION</b> M1 Sana M2 Ligeramente meteorizada M3 Moderadamente meteorizada M4 Muy meteorizada M5 Extremadamente meteorizada	<b>RESISTENCIA</b> R0 Extremadamente baja R1 Muy baja R2 Baja R3 Media R4 Alta R5 Muy alta R6 Extremadamente alta	<b>FRACTURAMIENTO</b> F1 Masiva F2 Ligeramente fracturada F3 Moderadamente fracturada F4 Muy fracturada F5 Extremadamente fracturada
<b>DIAMETRO DE PERFORACION</b> HQ ó NQ Perforación Diamantina (02 tubos) HQ3 ó NQ3 Perforación Diamantina (03 tubos)	<b>TIPO DE MUESTRA</b> CS Muestra de Testigo ST Tubo Shelby SPT Cuchara partida LPT Cuchara partida	<b>INDICE - BIENIWASKI (1989)</b> Tipo de roca I Muy buena II Buena III Regular IV Mala V Muy mala	<b>RQD</b> 0 - 25 Muy pobre 25 - 50 Pobre 50 - 75 Regular 75 - 90 Buena 90 - 100 Excelente

# ANEXO D EVALUACIÓN GEOMECÁNICA

- D.1 VALORACIÓN SUPERFICIAL DEL MACIZO  
ROCOSO
- D.2 REGISTRO RMR DE LAS PERFORACIONES
- D.3 ANÁLISIS DE DISCONTINUIDADES



VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)

TESIS : "ESTUDIO GEOTECNICO PARA EL DISENO DEL TUNEL DOS DE LA VIA EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO"

UBICACIÓN : HUÁNUCO

REALIZADO POR: CESEL S.A.C.

ESTACIÓN GEOMECÁNICA	LITOLOGÍA	SECTOR	PARÁMETROS DE RMR										VALORACIÓN DE RMR							
			Resistencia Roca Intacta (Mpa)	RQD(%)	Espacio Discontinuidades (m)	Condición de Discontinuidad					Meteorización	Condición Agua Subterranea	Indique tipo Trabajo	Ajuste por orientacion discontinuidad	RMR Básico	RMR Ajustado	RMR89	Cohesión ( c) Kpa	Ángulo Fricción Interna (°)	Clase Macizo Rocoso
						Persistencia Discontinuidad (m)	Separación o Apertura (mm)	Rugosidad	Tipo Relleno	Relleno (mm)										
EG-11A (PE2)	Esquisto micáceo	5+670 - 5+720	48	45	0.35	4	3	L	B	0	HW	CD	T	FR	46	41	46	230	28.0	III
EG-11	Esquisto micáceo	5+770 - 5+790	53	65	0.30	3	2	L	D	0	HW	CD	T	FV	50	48	50	250	30.0	III
EG-12A (PS2)	Esquisto micáceo	6+040 - 6+070	56	50	0.35	4	8	L	D	8	HW	CD	T	FR	42	37	42	210	26.0	IV

- RUGOSIDAD

VR Muv rugoso  
R Rugoso  
SR Ligeramente rugoso  
L Lisa  
SK Superficie Pulida

CONDICIONES DE AGUA

UW  
SW  
MW  
HW  
CW

CD Completamente seca  
DM Humeda  
WT Mojada  
DP Goteo  
FW Flujo

ORIENTACION DE DISCONTINUIDAD

VF Muv favorable  
FV Favorable  
FR Regular  
UF Desfavorable  
VU Muy desfavorable

TIPO DE RELLENO

B Blando  
D Duro

TIPO DE TRABAJO

T Tuneles y minas  
C Cimentaciones  
S Taludes

METODO DE EXCAVACIÓN

NS Talud natural  
PS Pre-corte  
SB Voladura controla  
RB Voladura regular  
DB Voladura deficiente

## REGISTRO GEOMECÁNICO PARÁMETROS Y CLASIFICACIÓN RMR (1989)

**TESIS :** ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL 2 DE LA VÍA  
EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

**UBICACIÓN :** PORTAL ENTRADA TÚNEL 2 - VIA DE EVITAMIENTO

**SUPERVISADO POR : CESEL S.A.C.**

NORTE :	8 901 136
ESTE :	365 219
ELEVACIÓN :	2 214 m.s.n.m.
AZIMUT :	36°
INCLINACIÓN :	+2°

**HOJA :** 1 **DE** 4

**PROFUNDIDAD (m) :** 120.10

## PERFORACIÓN

## ***P.E.TUNEL-2***

									PARÁMETROS RMR (1989)							
LONG. CORRIDA	DE (m)	A (m)	TIPO DISCONT	RECUPERACION (m)	RECUPERACION %	RQD LONGITUD (m)	RQD %	Nº Fracturas por corrida	UCS (Mpa)	ESPACIAMIENTO (m)	PERSISTENCIA (m)	APERTURA (mm)	RUGOSIDAD	TIPO RELLENO	METEORIZACIÓN	AGUA
1.20	0.00	1.20	J	1.20	100	0.50	42	10	50	0.50	3	2	LR	DN	MoM	LH
1.60	1.20	2.80	J	1.57	98	0.55	35	8	25	0.50	3	2	LR	DN	MoM	LH
1.20	2.80	4.00	J	1.16	97	0.50	43	18	25	0.50	3	6	LR	DW	MM	LH
1.00	4.00	5.00	J	0.98	98	0.54	55	11	50	0.60	3	3	LR	DN	MoM	LH
0.80	5.00	5.80	J	0.79	99	0.46	58	23	5	0.60	3	0	LR	N	D	LH
1.00	5.80	6.80	J	0.95	95	0.41	43	10	25	0.60	3	2	LR	DN	MM	LH
1.60	6.80	8.40	J	1.60	100	0.62	39	7	50	0.50	3	2	LR	DN	MoM	LH
1.10	8.40	9.50	J	1.08	98	0.49	45	5	75	0.50	3	3	LR	DN	MoM	LH
1.60	9.50	11.10	J	1.60	100	0.78	49	2	100	0.40	3	2	LR	DN	LM	LH
1.10	11.10	12.20	J	1.08	98	0.22	20	10	50	0.40	3	2	R	DN	LM	LH
1.00	12.20	13.20	J	0.93	93	0.46	49	12	50	0.40	3	2	R	DN	LM	LH
1.60	13.20	14.80	J	1.54	96	0.88	57	12	50	0.40	3	3	R	DN	MoM	LH
0.70	14.80	15.50	J	0.66	94	0.25	38	14	50	0.50	3	3	R	DN	MoM	LH
0.60	15.50	16.10	J	0.54	90	0.12	22	21	35	0.50	3	0	R	N	MM	LH
1.10	16.10	17.20	J	1.00	91	0.30	30	15	50	0.50	3	3	R	DN	MoM	LH
1.00	17.20	18.20	J	0.93	93	0.15	16	8	50	0.50	3	3	R	DN	LM	LH
0.60	18.20	18.80	J	0.60	100	0.40	67	7	75	0.60	3	3	R	DN	LM	LH
1.60	18.80	20.40	J	1.57	98	1.17	75	7	75	0.60	3	3	R	DN	LM	LH
1.20	20.40	21.60	J	1.20	100	0.84	70	5	100	0.60	3	4	R	DN	LM	LH
1.50	21.60	23.10	J	1.50	100	0.75	50	6	100	0.60	3	2	LR	DN	MoM	LH
1.30	23.10	24.40	J	1.30	100	0.68	52	6	120	0.60	3	4	LR	DW	MoM	LH
1.10	24.40	25.50	J	1.08	98	0.84	78	6	120	0.60	3	4	LR	DW	MoM	LH
1.60	25.50	27.10	J	1.57	98	1.02	65	7	150	0.60	3	6	LR	DW	MoM	LH
1.10	27.10	28.20	J	1.06	96	0.59	56	7	150	0.60	3	8	LR	DW	MoM	LH
1.00	28.20	29.20	J	0.97	97	0.45	46	8	180	0.60	3	10	LR	DW	MoM	LH
1.40	29.20	30.60	J	1.40	100	1.05	75	8	180	0.60	3	13	LR	DW	MoM	LH
1.30	30.60	31.90	J	1.30	100	0.72	55	8	200	0.60	3	15	LR	DW	MoM	LH

VALUACIÓN RMR (1989)												
RMR (1) Resistencia de la Matriz Rocosa	RMR (2) RQD	RMR (3) Espaciamiento	RMR (4-1) Persistencia	RMR (4-2) Apertura	RMR (4-3) Rugosidad	RMR (4-4) Relleno	RMR (4-5) Meteorización	RMR (5) Agua	RMR básico (TOTAL)	RMR ajustado a túnel (TOTAL)	CLASE	Q
4	5	9	4	1	3	4	3	10	43	41	III	0.25
3	5	9	4	1	3	4	3	10	42	40	IV	0.20
3	5	9	4	0	3	2	1	10	37	35	IV	0.10
4	8	10	4	1	3	4	3	10	47	45	III	0.43
2	8	10	4	6	3	6	0	10	49	47	III	0.58
3	5	10	4	1	3	4	1	10	41	39	IV	0.18
4	5	9	4	1	3	4	3	10	43	41	III	0.23
5	6	9	4	1	3	4	3	10	45	43	III	0.32
7	6	9	4	1	3	4	5	10	49	47	III	0.58
4	3	9	4	1	5	4	5	10	45	43	III	0.34
4	6	9	4	1	5	4	5	10	48	46	III	0.50
4	8	9	4	1	5	4	3	10	48	46	III	0.50
4	5	9	4	1	5	4	3	10	45	43	III	0.32
3	3	9	4	6	5	6	1	10	47	45	III	0.46
4	4	9	4	1	5	4	3	10	44	42	III	0.29
4	3	9	4	1	5	4	5	10	45	43	III	0.34
5	11	10	4	1	5	4	5	10	55	53	III	1.47
5	12	10	4	1	5	4	5	10	56	54	III	1.85
7	12	10	4	1	5	4	5	10	58	56	III	2.51
7	6	10	4	1	3	4	3	10	48	46	III	0.54
8	6	10	4	1	3	2	3	10	47	45	III	0.46
8	13	10	4	1	3	2	3	10	54	52	III	1.36
8	9	10	4	0	3	2	3	10	49	47	III	0.63
8	8	10	4	0	3	2	3	10	48	46	III	0.50
8	6	10	4	0	3	2	3	10	46	44	III	0.37
8	13	10	4	0	3	2	3	10	53	51	III	1.17
8	8	10	4	0	3	2	3	10	48	46	III	0.50

[illegible][illegible]

## REGISTRO GEOMECÁNICO PARÁMETROS Y CLASIFICACIÓN RMR (1989)

**TESIS :** ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL 2 DE LA VÍA  
EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

**UBICACIÓN :** PORTAL ENTRADA TÚNEL 2 - VIA DE EVITAMIENTO

**SUPERVISADO POR : CESEL S.A.C.**

NORTE :	8 901 136
ESTE :	365 219
ELEVACIÓN :	2 214 m.s.n.m.
AZIMUT :	36°
INCLINACIÓN :	+2°

**HOJA :** 4 **DE** 4

**PROFUNDIDAD (m) :** 120.10

## PERFORACIÓN

## ***P.E.TUNEL-2***

[illegible][illegible][illegible][illegible]



## REGISTRO GEOMECÁNICO PARÁMETROS Y CLASIFICACIÓN RMR (1989)

**TESIS :** ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL 2 DE LA VÍA DE EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

**UBICACIÓN :** PORTAL SALIDA TÚNEL 2 - VIA DE EVITAMIENTOC

**SUPERVISADO POR : CESEL S.A.C.**

**NORTE :** 8 901 440

**ESTE :** 365 219

**ELEVACIÓN :** 2 229 m.s.n.m.

**AZIMUT :** 216

**INCLINACIÓN :**  $-2^{\circ}$

**HOJA : 1 DE 4**

**PROFUNDIDAD (m) :** 100.00

## PERFORACIÓN

***P.S .TUNEL-2***

									PARÁMETROS RMR (1989)							
LONG. CORRIDA	DE (m)	A (m)	TIPO DISCONT	RECUPERACION (m)	RECUPERACION %	RQD LONGITUD (m)	RQD %	No Fracturas por corrida	UCS (Mpa)	ESPACIAMIENTO (m)	PERSISTENCIA (m)	APERTURA (mm)	RUGOSIDAD	TIPO RELLENO	METEORIZACIÓN	AGUA
0.50	0.00	0.50	J	0.47	94	0.00	0	25	50	0.20	3	5	LR	DW	MM	LH
0.50	0.50	1.00	J	0.48	96	0.36	75	18	60	0.30	3	3	LR	DW	MoM	LH
0.30	1.00	1.30	J	0.29	97	0.11	38	5	40	0.40	3	2	R	SN	MM	LH
1.00	1.30	2.30	J	0.97	97	0.11	11	20	40	0.40	3	2	LR	DW	MM	LH
1.00	2.30	3.30	J	0.95	95	0.45	47	16	60	0.50	3	3	LR	DW	MM	LH
0.90	3.30	4.20	J	0.86	96	0.68	79	6	70	0.50	3	2	LR	DW	MM	LH
1.00	4.20	5.20	J	0.97	97	0.59	61	10	70	0.50	3	2	LR	DW	MM	LH
1.30	5.20	6.50	J	1.23	95	0.50	41	13	80	0.50	3	3	LR	DW	MM	LH
1.10	6.50	7.60	J	1.07	97	0.52	49	14	80	0.60	3	3	LR	DW	MoM	LH
1.10	7.60	8.70	J	1.07	97	0.59	55	12	80	0.60	3	3	R	DW	MoM	LH
1.60	8.70	10.30	J	1.60	100	1.30	81	14	60	0.60	3	2	R	DW	MoM	LH
1.60	10.30	11.90	J	1.57	98	0.85	54	15	80	0.60	3	2	LR	DW	MoM	LH
1.40	11.90	13.30	J	1.40	100	0.71	51	22	30	0.50	3	1	LR	SW	MM	LH
1.40	13.30	14.70	J	1.26	90	0.38	30	17	80	0.50	3	2	LR	DW	MM	LH
1.20	14.70	15.90	J	1.16	97	0.28	24	22	30	0.40	3	3	LR	DW	MM	LH
1.10	15.90	17.00	J	1.10	100	0.11	10	24	60	0.40	3	2	R	DW	MM	LH
1.60	17.00	18.60	J	1.56	97	1.22	78	8	80	0.50	3	1	R	DW	LM	LH
1.60	18.60	20.20	J	1.56	98	1.37	88	6	80	0.50	3	1	R	DW	LM	LH
1.60	20.20	21.80	J	1.55	97	1.29	83	8		0.50	3	1	R	DW	LM	LH
1.60	21.80	23.40	J	1.59	99	1.11	70	14	100	0.50	3	2	R	DW	LM	LH
1.60	23.40	25.00	J	1.58	99	1.07	68	11	100	0.40	3	2	R	DW	MoM	LH
1.00	25.00	26.00	J	0.95	95	0.27	28	17	60	0.40	3	3	LR	DW	MM	LH
1.30	26.00	27.30	J	1.28	98	0.51	40	21	55	0.30	3	2	LR	DW	MM	LH
1.10	27.30	28.40	J	1.05	95	0.15	14	23	80	0.30	3	2	LR	SN	MM	LH
1.30	28.40	29.70	J	1.18	91	0.00	0	25	65	0.20	3	3	ON	SN	MM	LH
1.20	29.70	30.90	J	1.08	90	0.00	0	29	40	0.20	3	3	ON	SN	MM	LH
1.30	30.90	32.20	J	1.27	98	0.62	49	15	50	0.40	3	1	R	DW	MoM	LH

VALUACIÓN RMR (1989)												
RMR (1) Resistencia de la Matriz Rocosa	RMR (2) RQD	RMR (3) Espaciamiento	RMR (4-1) Persistencia	RMR (4-2) Apertura	RMR (4-3) Rugosidad	RMR (4-4) Relleno	RMR (4-5) Meteorización	RMR (5) Agua	RMR básico (TOTAL)	RMR ajustado a túnel (TOTAL)	CLASE	Q
4	3	8	4	0	3	2	1	10	35	30	IV	0.05
5	13	8	4	1	3	2	3	10	49	44	III	0.40
4	5	9	4	1	5	2	1	10	41	36	IV	0.11
4	3	9	4	1	3	2	1	10	37	32	IV	0.06
5	6	9	4	1	3	2	1	10	41	36	IV	0.11
5	13	9	4	1	3	2	1	10	48	43	III	0.34
5	9	9	4	1	3	2	1	10	44	39	IV	0.18
6	5	9	4	1	3	2	1	10	41	36	IV	0.12
6	6	10	4	1	3	2	3	10	45	40	IV	0.20
6	8	10	4	1	5	2	3	10	49	44	III	0.37
5	15	10	4	1	5	2	3	10	55	50	III	0.93
6	6	10	4	1	3	2	3	10	45	40	IV	0.22
3	6	9	4	1	3	0	1	10	37	32	IV	0.06
6	4	9	4	1	3	2	1	10	40	35	IV	0.10
3	3	9	4	1	3	2	1	10	36	31	IV	0.05
5	3	9	4	1	5	2	1	10	40	35	IV	0.10
6	13	9	4	1	5	2	5	10	55	50	III	1.00
6	16	9	4	1	5	2	5	10	58	53	III	1.58
0	15	9	4	1	5	2	5	10	51	46	III	0.50
7	12	9	4	1	5	2	5	10	55	50	III	1.00
7	11	9	4	1	5	2	3	10	52	47	III	0.58
5	4	9	4	1	3	2	1	10	39	34	IV	0.08
4	5	8	4	1	3	2	1	10	38	33	IV	0.07
6	3	8	4	1	3	2	1	10	38	33	IV	0.07
5	3	8	4	1	1	2	1	10	35	30	IV	0.05
4	3	8	4	1	1	2	1	10	34	29	IV	0.04
4	6	9	4	1	5	2	3	10	44	39	IV	0.17

RELLENO	PLANARIDAD	OBSERVACIONES
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	A partir de los 25 m aprox. se tiene
OxFe y Qz	I	surgencia de agua con Caudal de 1,5 l/min
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	On	
OxFe y Qz	On	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	P	

GRADO FRACTURAMIENTO		RESISTENCIA			RMR (1) Resistencia		RMR (2) RQD		RMR (3) Espaciamiento		RMR (4-1) Persistencia		RMR (4-2) Apertura		RMR (4-3) Rugosidad			RMR (4-4) Relleno			RMR (4-5) Meteorización			RMR (5) Agua		
					UCS	Rating	RQD	Rating	Espac. (m)	Rating	Long. (m)	Rating	Apert. (mm)	Rating	Rug.	Rating	Descripción	Relleno	Rating	Descripción	Meteor	Rating	Descripción	Agua	Rating	Descripción
F1	0 f/m	R6	> 250	Extrem. Alta	<1	0	< 25%	3	< 0,06	5	< 1	6	0	6	S	0	SUAVE	SW	0	SUAVE > 5mm	D	0	DESCOMPUESTA	F	0	AGUA FLUYENDO
F2	1 - 5 f/m	R5	100 - 250	Muy Alta	5-1	1	25-50%	6	0,06-0,2	8	1-3	4	< 0,1	5	ON	1	ONDULADA	SN	2	SUAVE < 5mm	MM	1	MUY METEORIZADA	G	4	GOTEO
F3	6 - 10 f/m	R4	50 - 100	Alta	25-5	2	50-75%	13	0,2-0,6	10	3-10	2	0,1-1	4	LR	3	LIG. RUGOSA	DW	2	DURO > 5mm	MoM	3	MODERADA. METEO	H	7	HÚMEDO
F4	11 - 20 f/m	R3	25 - 50	Media	50-25	4	75-90%	17	0,6-2	15	10-20	1	1-5	1	R	5	RUGOSA	DN	4	DURO < 5mm	LM	5	LIGERA. METEO	LH	10	LIG. HÚMEDO
F5	> 20 f/m	R2	5 - 25	Baja	100-50	7	90-100%	20	> 2	20	> 20	0	> 5	0	MR	6	MUY RUGOSA	N	6	NINGUNO	S	6	SANA	S	15	SECO
		R1	1 - 5	Muy Baja	250-100	12																				
		R0	0,25 - 1	Extrem. Baja	>250	15																				

## REGISTRO GEOMECÁNICO PARÁMETROS Y CLASIFICACIÓN RMR (1989)

**TESIS :** ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL 2 DE LA VÍA DE EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

**UBICACIÓN :** PORTAL SALIDA TÚNEL 2 - VIA DE EVITAMIENTO

**SUPERVISADO POR : CESEL S.A.C.**

**NORTE :** 8 901 440

**ESTE :** 365 219

**ELEVACIÓN :** 2 229 m.s.n.m.

**AZIMUT :** 216

**INCLINACIÓN :**  $-2^{\circ}$

**HOJA : 3 DE 4**

**PROFUNDIDAD (m) :** 100.00

## PERFORACIÓN

***P.S .TUNEL-2***

									PARÁMETROS RMR (1989)							
LONG. CORRIDA	DE (m)	A (m)	TIPO DISCONT	RECUPERACION (m)	RECUPERACION %	RQD LONGITUD (m)	RQD %	No Fracturas por corrida	UCS (Mpa)	ESPACIAMIENTO (m)	PERSISTENCIA (m)	APERTURA (mm)	RUGOSIDAD	TIPO RELLENO	METEORIZACIÓN	AGUA
1.60	53.50	55.10	J	1.55	97	0.74	48	18	50	0.50	3	1	LR	DW	MM	LH
1.00	55.10	56.10	J	0.96	96	0.16	17	25	50	0.40	3	2	LR	DW	MM	LH
1.00	56.10	57.10	J	0.98	98	0.20	20	22	40	0.40	3	2	LR	SN	MM	LH
1.20	57.10	58.30	J	1.18	98	0.42	36	13	60	0.40	3	2	LR	DW	MoM	LH
1.60	58.30	59.90	J	1.57	98	0.79	50	12	60	0.60	3	1	R	DW	MoM	LH
1.30	59.90	61.20	J	1.25	96	0.48	38	18	40	0.50	3	2	LR	DW	MM	LH
1.00	61.20	62.20	J	0.98	98	0.92	94	4	31	0.60	3	1	R	DW	LM	LH
1.60	62.20	63.80	J	1.60	100	1.26	79	10	40	0.60	3	1	R	DW	LM	LH
1.30	63.80	65.10	J	1.30	100	0.56	43	11	55	0.50	3	2	R	DW	MoM	LH
1.20	65.10	66.30	J	1.20	100	0.96	80	10	60	0.60	3	1	R	DW	MoM	LH
0.70	66.30	67.00	J	0.68	97	0.48	71	11	45	0.60	3	2	LR	DW	MoM	LH
0.70	67.00	67.70	J	0.70	100	0.54	77	6	50	0.60	3	2	LR	DW	LM	LH
1.60	67.70	69.30	J	1.57	98	0.97	62	15	50	0.50	3	1	LR	SW	MoM	LH
1.60	69.30	70.90	J	1.50	94	0.23	15	30	45	0.50	3	2	ON	SN	MM	LH
1.30	70.90	72.20	J	1.26	97	0.40	32	25	15	0.40	3	3	ON	SN	MM	LH
1.40	72.20	73.60	J	1.27	91	0.10	8	28	25	0.40	3	2	ON	DW	MM	LH
1.50	73.60	75.10	J	1.38	92	0.50	36	23	25	0.30	3	1	LR	DW	MM	LH
1.40	75.10	76.50	J	1.27	91	0.11	9	32	25	0.30	3	1	ON	DW	MM	LH
0.70	76.50	77.20	J	0.68	97	0.60	88	5	20	0.40	3	1	R	DW	LM	LH
0.90	77.20	78.10	J	0.90	100	0.68	76	6	20	0.50	3	1	R	DW	LM	LH
1.30	78.10	79.40	J	1.30	100	0.94	72	8	20	0.60	3	1	R	DW	LM	LH
1.60	79.40	81.00	J	1.55	97	1.02	66	12	20	0.60	3	1	R	DW	MoM	LH
1.60	81.00	82.60	J	1.58	99	0.58	37	21	20	0.60	3	2	LR	DW	MM	LH
1.60	82.60	84.20	J	1.56	97	1.23	79	9	15	0.60	3	1	R	DW	LM	LH
1.60	84.20	85.80	J	1.55	97	0.74	48	25	20	0.60	3	3	LR	SN	MM	LH
1.60	85.80	87.40	J	1.56	97	1.36	87	8	25	0.60	3	1	R	DW	LM	LH
1.60	87.40	89.00	J	1.57	98	1.24	79	14	25	0.60	3	1	R	DW	LM	LH

VALUACIÓN RMR (1989)												
RMR (1) Resistencia de la Matriz Rocosa	RMR (2) RQD	RMR (3) Espaciamiento	RMR (4-1) Persistencia	RMR (4-2) Apertura	RMR (4-3) Rugosidad	RMR (4-4) Relleno	RMR (4-5) Meteorización	RMR (5) Agua	RMR básico (TOTAL)	RMR ajustado a túnel (TOTAL)	CLASE	Q
4	6	9	4	1	3	2	1	10	40	35	IV	0.09
4	3	9	4	1	3	2	1	10	37	32	IV	0.06
4	3	9	4	1	3	2	1	10	37	32	IV	0.06
5	5	9	4	1	3	2	3	10	42	37	IV	0.13
5	6	10	4	1	5	2	3	10	46	41	III	0.25
4	5	9	4	1	3	2	1	10	39	34	IV	0.08
3	17	10	4	1	5	2	5	10	57	52	III	1.36
4	13	10	4	1	5	2	5	10	54	49	III	0.86
4	5	9	4	1	5	2	3	10	43	38	IV	0.16
5	15	10	4	1	5	2	3	10	55	50	III	0.93
4	12	10	4	1	3	2	3	10	49	44	III	0.40
4	13	10	4	1	3	2	5	10	52	47	III	0.63
4	9	9	4	1	3	0	3	10	43	38	IV	0.16
4	3	9	4	1	1	2	1	10	35	30	IV	0.05
2	4	9	4	1	1	2	1	10	34	29	IV	0.04
3	3	9	4	1	1	2	1	10	34	29	IV	0.04
3	5	8	4	1	3	2	1	10	37	32	IV	0.06
3	3	8	4	1	1	2	1	10	33	28	IV	0.03
2	16	9	4	1	5	2	5	10	54	49	III	0.86
2	13	9	4	1	5	2	5	10	51	46	III	0.54
2	12	10	4	1	5	2	5	10	51	46	III	0.54
2	11	10	4	1	5	2	3	10	48	43	III	0.32
2	5	10	4	1	3	2	1	10	38	33	IV	0.07
2	13	10	4	1	5	2	5	10	52	47	III	0.63
2	6	10	4	1	3	2	1	10	39	34	IV	0.08
3	16	10	4	1	5	2	5	10	56	51	III	1.17
3	13	10	4	1	5	2	5	10	53	48	III	0.74

RELLENO	PLANARIDAD	OBSERVACIONES
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	A partir de los 25 m aprox. se tiene
OxFe y Qz	I	surgencia de agua con Caudal de 1,5 l/min
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	On	
OxFe y Qz	On	
OxFe y Qz	I	
OxFe y Qz	P	

[illegible]



## REGISTRO GEOMECÁNICO PARÁMETROS Y CLASIFICACIÓN RMR (1989)

**TESIS :** ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL 2 DE LA VÍA DE EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO

**UBICACIÓN :** PORTAL SALIDA TÚNEL 2 - VIA DE EVITAMIENTO

**SUPERVISADO POR : CESEL S.A.C.**

NORTE :	8 901 440
ESTE :	365 219
ELEVACIÓN :	2 229 m.s.n.m.
AZIMUT :	216
INCLINACIÓN :	-2°

**HOJA : 4 DE 4**

**PROFUNDIDAD (m) :** 100.00

## PERFORACIÓN

***P.S .TUNEL-2***

[illegible][illegible][illegible]

GRADO FRACTURAMIENTO		RESISTENCIA			RMR (1) Resistencia		RMR (2) RQD		RMR (3) Espaciamiento		RMR (4-1) Persistencia		RMR (4-2) Apertura		RMR (4-3) Rugosidad			RMR (4-4) Relleno			RMR (4-5) Meteorización			RMR (5) Agua		
					UCS	Rating	RQD	Rating	Espac. (m)	Rating	Long. (m)	Rating	Apert. (mm)	Rating	Rug.	Rating	Descripción	Relleno	Rating	Descripción	Meteor	Rating	Descripcion	Agua	Rating	Descripcion
F1	0 f/m	R6	> 250	Extrem. Alta	<1	0	< 25%	3	< 0,06	5	< 1	6	0	6	S	0	SUAVE	SW	0	SUAVE > 5mm	D	0	DESCOMPUESTA	F	0	AGUA FLUYENDO
F2	1 - 5 f/m	R5	100 - 250	Muy Alta	5-1	1	25-50%	6	0,06-0,2	8	1-3	4	< 0,1	5	ON	1	ONDULADA	SN	2	SUAVE < 5mm	MM	1	MUY METEORIZADA	G	4	GOTEO
F3	6 - 10 f/m	R4	50 - 100	Alta	25-5	2	50-75%	13	0,2-0,6	10	3-10	2	0,1-1	4	LR	3	LIG. RUGOSA	DW	2	DURO > 5mm	MoM	3	MODERADA. METEO	H	7	HÚMEDO
F4	11 - 20 f/m	R3	25 - 50	Media	50-25	4	75-90%	17	0,6-2	15	10-20	1	1-5	1	R	5	RUGOSA	DN	4	DURO < 5mm	LM	5	LIGERA. METEO	LH	10	LIG. HÚMEDO
F5	> 20 f/m	R2	5 - 25	Baja	100-50	7	90-100%	20	> 2	20	> 20	0	> 5	0	MR	6	MUY RUGOSA	N	6	NINGUNO	S	6	SANA	S	15	SECO
		R1	1 - 5	Muy Baja	250-100	12																				
		R0	0,25 - 1	Extrem. Baja	>250	15																				

Imagen 1 Concentración de polos en el portal de entrada del túnel 2. EG-11A.

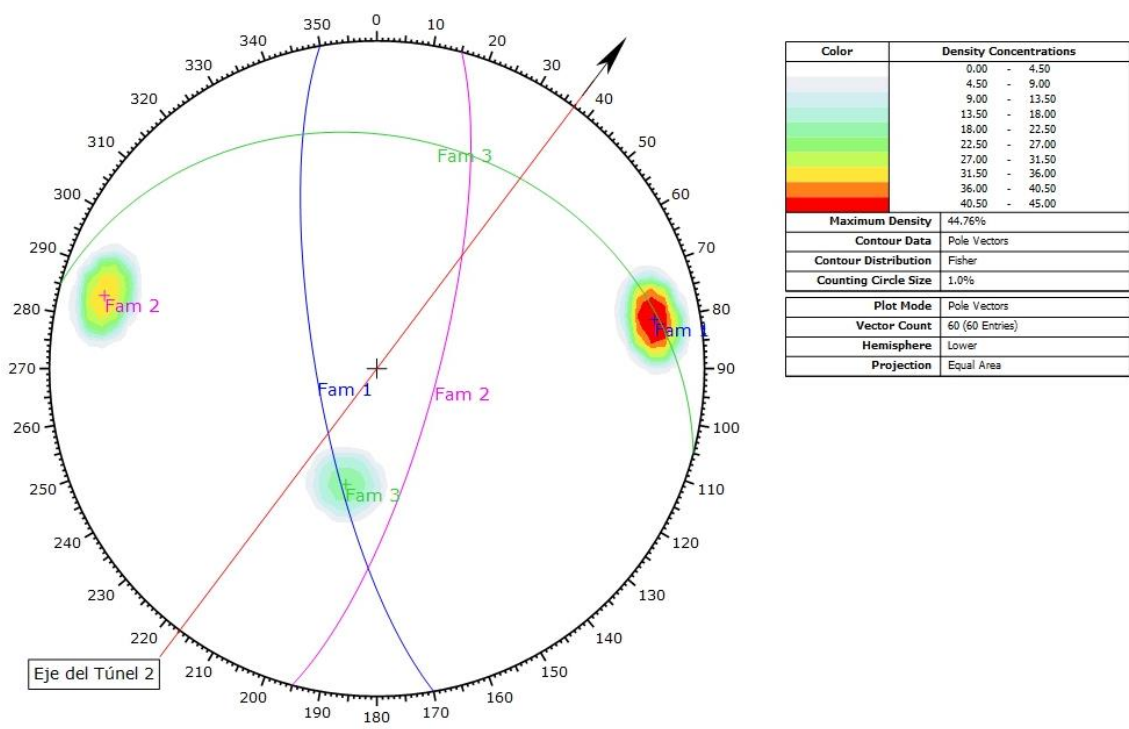


Imagen 2 Familias principales y eje del túnel en el portal de entrada del túnel 2. EG-11A

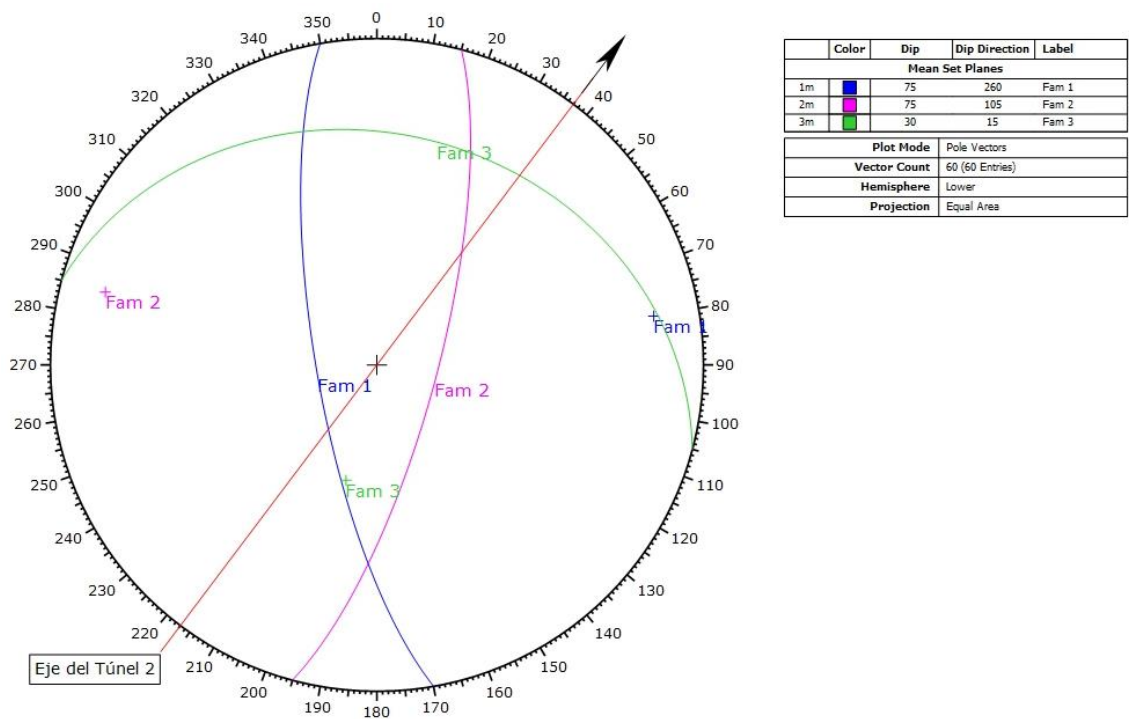


Imagen 3 Diagrama de rosetas en el portal de entrada del túnel 2. EG-11A.

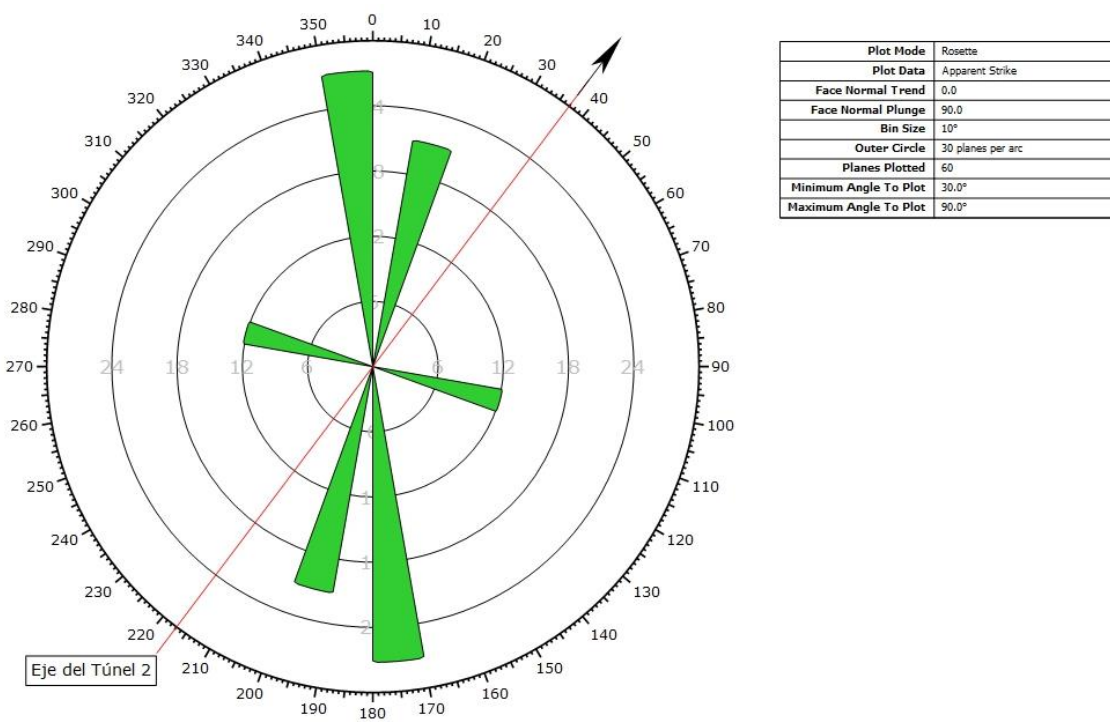


Imagen 4 Concentración de polos en el portal de salida del túnel 2. EG-12A.

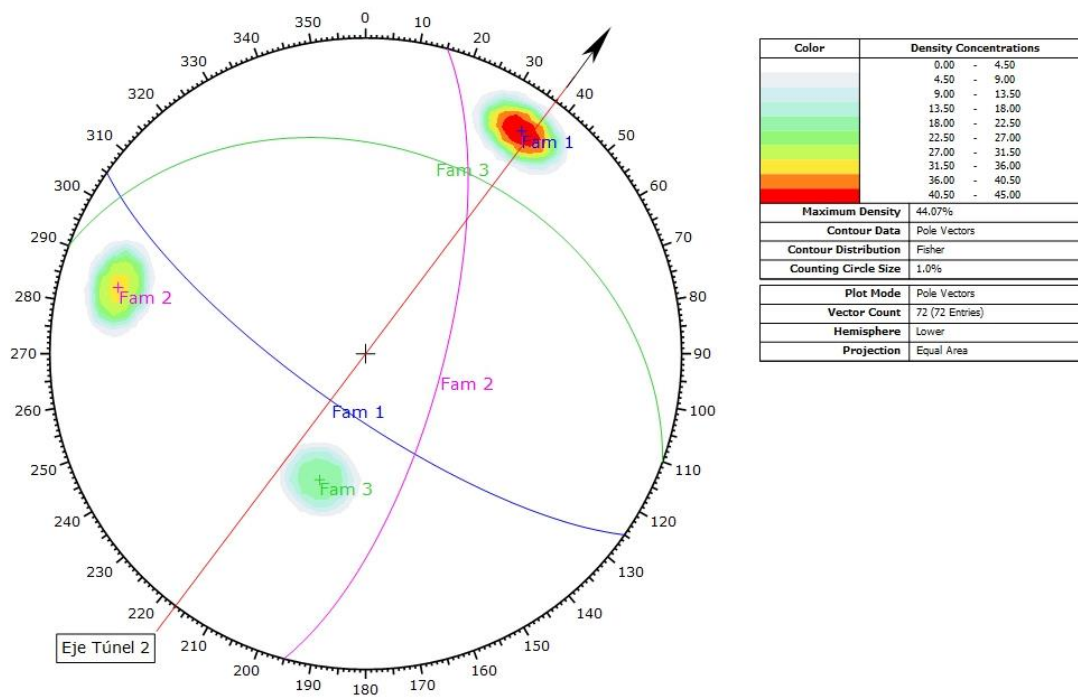




Imagen 5 Familias principales y eje del túnel en el portal de salida del túnel 2. EG-12A

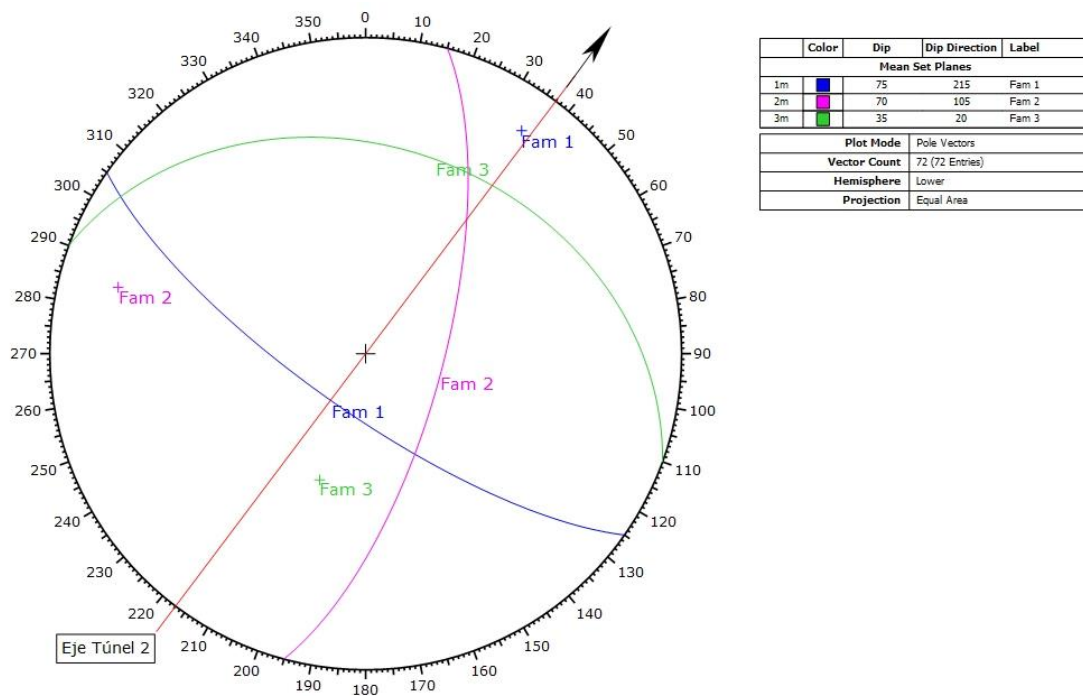
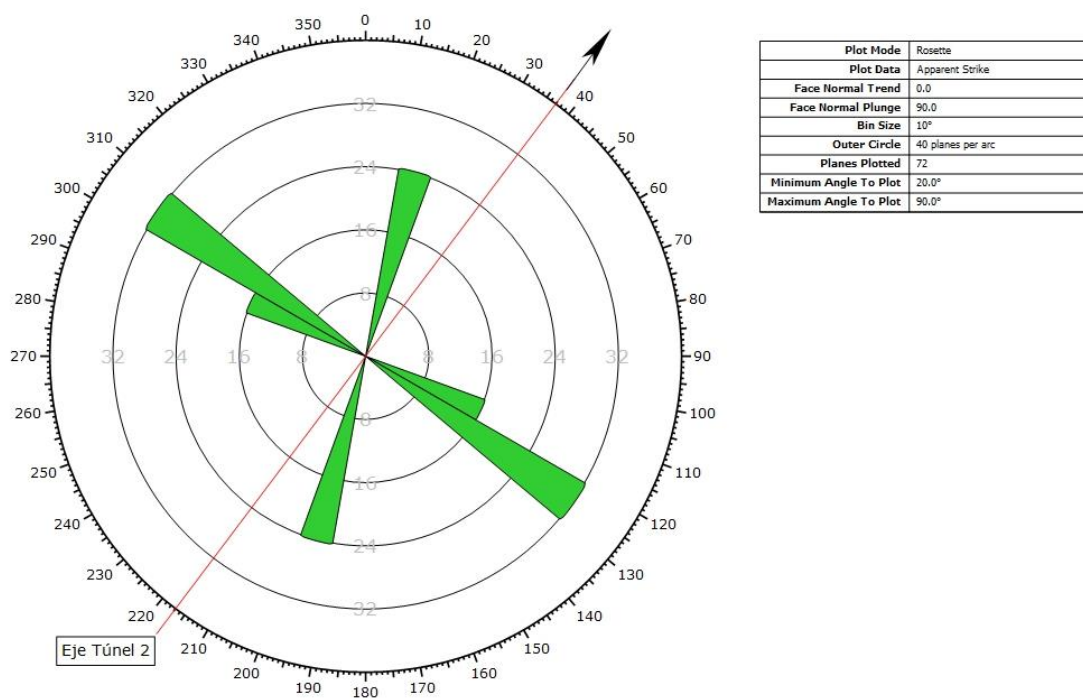


Imagen 6 Diagrama de rosetas en el portal de salida del túnel 2. EG-12A.



# ANEXO E PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS	
Tesis	: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL 2 DE LA VÍA DE EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO
Ubicación	: TUNEL 2 - ROCA TIPO IV - PICO
Litología	: ESQUISTO

1.0 Roca intacta

Peso específico	$\gamma_i$	:	0.025 (MN/m <sup>3</sup> )
Resistencia a la compresión uniaxial	$\sigma_{ci}$	:	40 (MPa)
Constante de la roca intacta	$m_i$	:	11.66
Relación modular	$MR$	:	250
Cohesión	$c_i$	:	6.05 (MPa)
Angulo de fricción interna	$\phi_i$	:	39.1 (°)
Módulo de elasticidad	$E_i$	:	10000 (MPa)
Relación de Poisson	$\nu_i$	:	0.3

2.0 Macizo Rocoso

Valoración de la masa rocosa, $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)	:	25
Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995)	:	25
Indice, $Q$ (Barton, 1974)	:	0.121
Espaciamiento de discontinuidades (m)	:	0.2
Factor de perturbación de la roca, $D$	:	0.2

2.1 Proyecto de ingeniería

Túneles	$z$ =	90 m
---------	-------	------

2.2 Estimación de las propiedades de resistencia

a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb

Bieniawski (1976)	$c'_m$ =	1.2 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\phi'_m$ =	11.9 °
Con criterio de falla de Hoek-Brown	$c'_m$ =	2.6 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\phi'_m$ =	38.9 °

b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

$m_b$	=	0.595
$s$	=	0.00013
$a$	=	0.53

Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )

$\sigma_{tm}$	=	$-s \sigma_{ci} / m_b$
$\sigma_{tm}$	=	-0.1 Kg/cm <sup>2</sup>

Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )

	$\sigma_{cm}$	=	$\sigma_{ci} s^a$
(Inicio de ruptura)	$\sigma_{cm}$	=	3.4 Kg/cm <sup>2</sup>
(Ruptura global del macizo)	$\sigma_{cm}$	=	34.6 Kg/cm <sup>2</sup>

2.3 Estimación de las propiedades de deformación

a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad,  $E_m$ )

- Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983)	$E_m$	=	2371	MPa
- Kulhawy y Goodman (1980)	$E_m$	=	2000	MPa
- Hoek (1995)	$E_m$	=	1500	MPa
- Grimstad y Barton (1993)	$E_m$	=	-	MPa
- Gokceoglu et al. (2003)	$E_m$	=	744	MPa
- Hoek y Diederichs (2006)	$E_m$	=	476	MPa
Valor asumido	$E_m$	=	2371	MPa

2.4 Esfuerzos *in situ*

$k$	=	1.00	En rocas fracturadas en superficie
$k$	=	1.50	En rocas no alteradas en superficie
$k$	=	0.43	En medios homogéneos e isotrópicos en función de m
$k$	=	1.0	Valor asumido
Esfuerzo vertical	$\sigma_v$	=	2.25 MPa
Esfuerzo horizontal	$\sigma_h$	=	2.25 MPa
Esfuerzo principal mayor	$\sigma_{1max}$	=	2.25 MPa
Esfuerzo principal menor	$\sigma_{3max}$	=	2.25 MPa

2.5 Carga admisible del macizo rocoso

Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

Hoek <i>et al.</i> (2002)	$q_{ult}$	=	34.6 Kg/cm <sup>2</sup>
Serrano y Olalla (2001)	$q_{ult}$	=	$\beta(N_\beta - \zeta)$
	$\beta$	=	3.0 MPa
	$\zeta$	=	0.003
	$\sigma^*_{01}$	=	0.760
	$N_\beta$	=	13.0
	$q_{ult}$	=	38.5
AASHTO (1996)	$q_{ult}$	=	$N_{ms} * U_c$
	$N_{ms}$	=	0.0164
	$U_c$	=	400 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ult}$	=	6.566 Kg/cm <sup>2</sup>
Criterio de comprobación	$q_{ad}$	<	$0.2 * U_c$
	$U_c$	=	400 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	80.0 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	$0.33 * f'c$
	$f'c$	=	210.0 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	69.3 Kg/cm <sup>2</sup>

3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

Ubicación: TUNEL 2 - ROCA TIPO IV - PICO

Criterio de resistencia Mohr Coulomb	$c'_m$	=	2.6 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\phi'_m$	=	38.9 °
Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown	$m_b$	=	0.595
	$s$	=	0.00013
	$a$	=	0.531
Parámetros de deformación	$E_m$	=	2371 MPa
Capacidad de soporte última	$q_{ult}$	=	34.6 Kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad admisible del macizo rocoso	$q_{ad}$	=	11.5 Kg/cm <sup>2</sup>
Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)	$\tau$	=	6.7 Kg/cm <sup>2</sup>

RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS	
Tesis	: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL 2 DE LA VÍA DE EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO
Ubicación	: TUNEL 2 - ROCA TIPO IV - RESIDUAL
Litología	: ESQUISTO

1.0 Roca intacta

Peso específico	$\gamma_i$	:	0.025 (MN/m³)
Resistencia a la compresión uniaxial	$\sigma_{ci}$	:	40 (MPa)
Constante de la roca intacta	$m_i$	:	11.66
Relación modular	$MR$	:	250
Cohesión	$c_i$	:	6.05 (MPa)
Angulo de fricción interna	$\phi_i$	:	39.1 (°)
Módulo de elasticidad	$E_i$	:	10000 (MPa)
Relación de Poisson	$\nu_i$	:	0.3

2.0 Macizo Rocoso

Valoración de la masa rocosa, $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)	:	15
Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995)	:	15
Indice, $Q$ (Barton, 1974)	:	0.040
Espaciamiento de discontinuidades (m)	:	0.1
Factor de perturbación de la roca, $D$	:	0.2

2.1 Proyecto de ingeniería

Túneles	$z$	=	90 m
---------	-----	---	------

2.2 Estimación de las propiedades de resistencia

a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb

Bieniawski (1976)	$c'_m$	=	0.7 Kg/cm²
	$\phi'_m$	=	6.4 °
Con criterio de falla de Hoek-Brown	$c'_m$	=	1.8 Kg/cm²
	$\phi'_m$	=	33.6 °

b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

$m_b$	=	0.400
$s$	=	0.00004
$a$	=	0.56

Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )

$\sigma_{tm}$	=	$-s \sigma_{ci} / m_b$
$\sigma_{tm}$	=	0.0 Kg/cm²

Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )

	$\sigma_{cm}$	=	$\sigma_{ci} s^a$
(Inicio de ruptura)	$\sigma_{cm}$	=	1.3 Kg/cm²
(Ruptura global del macizo)	$\sigma_{cm}$	=	23.7 Kg/cm²

2.3 Estimación de las propiedades de deformación

a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad,  $E_m$ )

- Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983)	$E_m$	=	1334	MPa
- Kulhawy y Goodman (1980)	$E_m$	=	1000	MPa
- Hoek (1995)	$E_m$	=	843	MPa
- Grimstad y Barton (1993)	$E_m$	=	-	MPa
- Gokceoglu et al. (2003)	$E_m$	=	387	MPa
- Hoek y Diederichs (2006)	$E_m$	=	313	MPa
Valor asumido	$E_m$	=	843	MPa

2.4 Esfuerzos *in situ*

$k$	=	1.00	En rocas fracturadas en superficie
$k$	=	1.50	En rocas no alteradas en superficie
$k$	=	0.43	En medios homogéneos e isotrópicos en función de m
$k$	=	1.0	Valor asumido
Esfuerzo vertical	$\sigma_v$	=	2.25 MPa
Esfuerzo horizontal	$\sigma_h$	=	2.25 MPa
Esfuerzo principal mayor	$\sigma_{1max}$	=	2.25 MPa
Esfuerzo principal menor	$\sigma_{3max}$	=	2.25 MPa

2.5 Carga admisible del macizo rocoso

Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

Hoek <i>et al.</i> (2002)	$q_{ult}$	=	23.7 Kg/cm <sup>2</sup>
Serrano y Olalla (2001)	$q_{ult}$	=	$\beta(N_\beta - \zeta)$
	$\beta$	=	2.0 MPa
	$\zeta$	=	0.002
	$\sigma^*_{01}$	=	1.128
	$N_\beta$	=	15.8
	$q_{ult}$	=	31.6
AASHTO (1996)	$q_{ult}$	=	$N_{ms} * U_c$
	$N_{ms}$	=	0.0078
	$U_c$	=	400 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ult}$	=	3.114 Kg/cm <sup>2</sup>
Criterio de comprobación	$q_{ad}$	<	$0.2 * U_c$
	$U_c$	=	400 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	80.0 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	$0.33 * f'_c$
	$f'_c$	=	210.0 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	69.3 Kg/cm <sup>2</sup>

3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

Ubicación: TUNEL 2 - ROCA TIPO IV - RESIDUAL

Criterio de resistencia Mohr Coulomb	$c'_m$	=	1.8 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\phi'_m$	=	33.6 °
Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown	$m_b$	=	0.400
	$s$	=	0.00004
	$a$	=	0.561
Parámetros de deformación	$E_m$	=	843 MPa
Capacidad de soporte última	$q_{ult}$	=	23.7 Kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad admisible del macizo rocoso	$q_{ad}$	=	7.9 Kg/cm <sup>2</sup>
Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)	$\tau$	=	6.7 Kg/cm <sup>2</sup>

RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS	
Tesis	: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL 2 DE LA VÍA EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO
Ubicación	: TUNEL 2 - ROCA TIPO V - PICO
Litología	: ESQUISTO

1.0 Roca intacta

Peso específico	$\gamma_i$	:	0.024 (MN/m <sup>3</sup> )
Resistencia a la compresión uniaxial	$\sigma_{ci}$	:	18 (MPa)
Constante de la roca intacta	$m_i$	:	11.66
Relación modular	$MR$	:	250
Cohesión	$c_i$	:	6.05 (MPa)
Angulo de fricción interna	$\phi_i$	:	39.1 (°)
Módulo de elasticidad	$E_i$	:	4500 (MPa)
Relación de Poisson	$\nu_i$	:	0.3

2.0 Macizo Rocoso

Valoración de la masa rocosa, $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)	:	15
Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995)	:	15
Indice, $Q$ (Barton, 1974)	:	0.040
Espaciamiento de discontinuidades (m)	:	0.05
Factor de perturbación de la roca, $D$	:	0

2.1 Proyecto de ingeniería

Túneles	$z$ =	75 m
---------	-------	------

2.2 Estimación de las propiedades de resistencia

a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb

Bieniawski (1976)	$c'_m$ =	0.7 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\phi'_m$ =	6.4 °
Con criterio de falla de Hoek-Brown	$c'_m$ =	1.4 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\phi'_m$ =	32.7 °

b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

$m_b$	=	0.560
$s$	=	0.00008
$a$	=	0.56

Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )

$\sigma_{tm}$	=	$-s \sigma_{ci} / m_b$
$\sigma_{tm}$	=	0.0 Kg/cm <sup>2</sup>

Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )

	$\sigma_{cm}$	=	$\sigma_{ci} \cdot s^a$
(Inicio de ruptura)	$\sigma_{cm}$	=	0.9 Kg/cm <sup>2</sup>
(Ruptura global del macizo)	$\sigma_{cm}$	=	12.9 Kg/cm <sup>2</sup>

2.3 Estimación de las propiedades de deformación

a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad,  $E_m$ )

- Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983)	$E_m$	=	1334	MPa
- Kulhawy y Goodman (1980)	$E_m$	=	225	MPa
- Hoek (1995)	$E_m$	=	566	MPa
- Grimstad y Barton (1993)	$E_m$	=	-	MPa
- Gokceoglu et al. (2003)	$E_m$	=	387	MPa
- Hoek y Diederichs (2006)	$E_m$	=	164	MPa
Valor asumido	$E_m$	=	1334	MPa

2.4 Esfuerzos *in situ*

$k$	=	1.00	En rocas fracturadas en superficie
$k$	=	1.50	En rocas no alteradas en superficie
$k$	=	0.43	En medios homogéneos e isotrópicos en función de m
$k$	=	1.0	Valor asumido
Esfuerzo vertical	$\sigma_v$	=	1.80 MPa
Esfuerzo horizontal	$\sigma_h$	=	1.80 MPa
Esfuerzo principal mayor	$\sigma_{1max}$	=	1.80 MPa
Esfuerzo principal menor	$\sigma_{3max}$	=	1.80 MPa

2.5 Carga admisible del macizo rocoso

Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

Hoek <i>et al.</i> (2002)	$q_{ult}$	=	12.9 Kg/cm <sup>2</sup>
Serrano y Olalla (2001)	$q_{ult}$	=	$\beta(N_\beta - \zeta)$
	$\beta$	=	1.3 MPa
	$\zeta$	=	0.002
	$\sigma^*_{01}$	=	1.430
	$N_\beta$	=	22.0
	$q_{ult}$	=	27.7
AASHTO (1996)	$q_{ult}$	=	$N_{ms} * U_c$
	$N_{ms}$	=	0.0078
	$U_c$	=	180 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ult}$	=	1.401 Kg/cm <sup>2</sup>
Criterio de comprobación	$q_{ad}$	<	$0.2 * U_c$
	$U_c$	=	180 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	36.0 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	$0.33 * f'c$
	$f'c$	=	210.0 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	69.3 Kg/cm <sup>2</sup>

3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

Ubicación: TUNEL 2 - ROCA TIPO V - PICO

Criterio de resistencia Mohr Coulomb	$c'_m$	=	1.4 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\phi'_m$	=	32.7 °
Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown	$m_b$	=	0.560
	$s$	=	0.00008
	$a$	=	0.561
Parámetros de deformación	$E_m$	=	1334 MPa
Capacidad de soporte última	$q_{ult}$	=	12.9 Kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad admisible del macizo rocoso	$q_{ad}$	=	4.3 Kg/cm <sup>2</sup>
Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)	$\tau$	=	3.0 Kg/cm <sup>2</sup>



RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS	
Tesis	: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL 2 DE LA VÍA EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO
Ubicación	: TUNEL 2 - ROCA TIPO V - RESIDUAL
Litología	: ESQUISTO

1.0 Roca intacta

Peso específico	$\gamma_i$	:	0.024 (MN/m³)
Resistencia a la compresión uniaxial	$\sigma_{ci}$	:	18 (MPa)
Constante de la roca intacta	$m_i$	:	11.66
Relación modular	$MR$	:	250
Cohesión	$c_i$	:	6.05 (MPa)
Angulo de fricción interna	$\phi_i$	:	39.1 (°)
Módulo de elasticidad	$E_i$	:	4500 (MPa)
Relación de Poisson	$\nu_i$	:	0.3

2.0 Macizo Rocoso

Valoración de la masa rocosa, $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)	:	5
Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995)	:	0
Indice, $Q$ (Barton, 1974)	:	0.008
Espaciamiento de discontinuidades (m)	:	0.025
Factor de perturbación de la roca, $D$	:	0

2.1 Proyecto de ingeniería

Túneles	$z$ =	75 m
---------	-------	------

2.2 Estimación de las propiedades de resistencia

a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb

Bieniawski (1976)	$c'_m$ =	0.2 Kg/cm²
	$\phi'_m$ =	1.0 °
Con criterio de falla de Hoek-Brown	$c'_m$ =	0.5 Kg/cm²
	$\phi'_m$ =	22.2 °

b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

$m_b$	=	0.328
$s$	=	0.00001
$a$	=	0.67

Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )

$\sigma_{tm}$	=	$-s \sigma_{ci} / m_b$
$\sigma_{tm}$	=	0.0 Kg/cm²

Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )

	$\sigma_{cm}$	=	$\sigma_{ci} s^a$
(Inicio de ruptura)	$\sigma_{cm}$	=	0.1 Kg/cm²
(Ruptura global del macizo)	$\sigma_{cm}$	=	5.0 Kg/cm²

2.3 Estimación de las propiedades de deformación

a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad,  $E_m$ )

- Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983)	$E_m$	=	562	MPa
- Kulhawy y Goodman (1980)	$E_m$	=	112.5	MPa
- Hoek (1995)	$E_m$	=	239	MPa
- Grimstad y Barton (1993)	$E_m$	=	-	MPa
- Gokceoglu et al. (2003)	$E_m$	=	145	MPa
- Hoek y Diederichs (2006)	$E_m$	=	109	MPa
Valor asumido	$E_m$	=	239	MPa

2.4 Esfuerzos *in situ*

$k$	=	1.00	En rocas fracturadas en superficie
$k$	=	1.50	En rocas no alteradas en superficie
$k$	=	0.43	En medios homogéneos e isotrópicos en función de m
$k$	=	1.0	Valor asumido
Esfuerzo vertical	$\sigma_v$	=	1.80 MPa
Esfuerzo horizontal	$\sigma_h$	=	1.80 MPa
Esfuerzo principal mayor	$\sigma_{1max}$	=	1.80 MPa
Esfuerzo principal menor	$\sigma_{3max}$	=	1.80 MPa

2.5 Carga admisible del macizo rocoso

Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

Hoek <i>et al.</i> (2002)	$q_{ult}$	=	5.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Serrano y Olalla (2001)	$q_{ult}$	=	$\beta(N_\beta - \zeta)$
	$\beta$	=	0.7 MPa
	$\zeta$	=	0.001
	$\sigma^*_{01}$	=	2.441
	$N_\beta$	=	101.7
	$q_{ult}$	=	75.0
AASHTO (1996)	$q_{ult}$	=	$N_{ms} * U_c$
	$N_{ms}$	=	0.0025
	$U_c$	=	180 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ult}$	=	0.458 Kg/cm <sup>2</sup>
Criterio de comprobación	$q_{ad}$	<	$0.2 * U_c$
	$U_c$	=	180 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	36.0 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	$0.33 * f'_c$
	$f'_c$	=	210.0 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	69.3 Kg/cm <sup>2</sup>

3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

Ubicación: TUNEL 2 - ROCA TIPO V - RESIDUAL

Criterio de resistencia Mohr Coulomb	$c'_m$	=	0.5 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\phi'_m$	=	22.2 °
Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown	$m_b$	=	0.328
	$s$	=	0.00001
	$a$	=	0.666
Parámetros de deformación	$E_m$	=	239 MPa
Capacidad de soporte última	$q_{ult}$	=	5.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad admisible del macizo rocoso	$q_{ad}$	=	1.7 Kg/cm <sup>2</sup>
Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)	$\tau$	=	3.0 Kg/cm <sup>2</sup>

RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS	
Tesis	: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL 2 DE LA VÍA DE EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO
Ubicación	: TUNEL 02 - ROCA TIPO IV - PICO
Litología	: GNEIS

1.0 Roca intacta

Peso específico	$\gamma_i$	:	0.025 (MN/m³)
Resistencia a la compresión uniaxial	$\sigma_{ci}$	:	50 (MPa)
Constante de la roca intacta	$m_i$	:	12.26
Relación modular	$MR$	:	300
Cohesión	$c_i$	:	4.10 (MPa)
Angulo de fricción interna	$\phi_i$	:	35.9 (°)
Módulo de elasticidad	$E_i$	:	15000 (MPa)
Relación de Poisson	$\nu_i$	:	0.3

2.0 Macizo Rocoso

Valoración de la masa rocosa, $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)	:	25
Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995)	:	25
Indice, $Q$ (Barton, 1974)	:	0.121
Espaciamiento de discontinuidades (m)	:	0.1
Factor de perturbación de la roca, $D$	:	0.2

2.1 Proyecto de ingeniería

Túneles	$z$	=	70 m
---------	-----	---	------

2.2 Estimación de las propiedades de resistencia

a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb

Bieniawski (1976)	$c'_m$	=	1.2 Kg/cm²
	$\phi'_m$	=	11.9 °
Con criterio de falla de Hoek-Brown	$c'_m$	=	2.5 Kg/cm²
	$\phi'_m$	=	42.9 °

b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

$m_b$	=	0.625
$s$	=	0.00013
$a$	=	0.53

Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )

$\sigma_{tm}$	=	$-s \sigma_{ci} / m_b$
$\sigma_{tm}$	=	-0.1 Kg/cm²

Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )

	$\sigma_{cm}$	=	$\sigma_{ci} \cdot s^a$
(Inicio de ruptura)	$\sigma_{cm}$	=	4.3 Kg/cm²
(Ruptura global del macizo)	$\sigma_{cm}$	=	44.4 Kg/cm²

2.3 Estimación de las propiedades de deformación

a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad,  $E_m$ )

- Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983)	$E_m$	=	2371	MPa
- Kulhawy y Goodman (1980)	$E_m$	=	1500	MPa
- Hoek (1995)	$E_m$	=	1677	MPa
- Grimstad y Barton (1993)	$E_m$	=	-	MPa
- Gokceoglu et al. (2003)	$E_m$	=	744	MPa
- Hoek y Diederichs (2006)	$E_m$	=	714	MPa
Valor asumido	$E_m$	=	1677	MPa

2.4 Esfuerzos *in situ*

$k$	=	1.00	En rocas fracturadas en superficie
$k$	=	1.50	En rocas no alteradas en superficie
$k$	=	0.43	En medios homogéneos e isotrópicos en función de m
$k$	=	1.0	Valor asumido
Esfuerzo vertical	$\sigma_v$	=	1.75 MPa
Esfuerzo horizontal	$\sigma_h$	=	1.75 MPa
Esfuerzo principal mayor	$\sigma_{1max}$	=	1.75 MPa
Esfuerzo principal menor	$\sigma_{3max}$	=	1.75 MPa

2.5 Carga admisible del macizo rocoso

Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

Hoek <i>et al.</i> (2002)	$q_{ult}$	=	44.4 Kg/cm <sup>2</sup>
Serrano y Olalla (2001)	$q_{ult}$	=	$\beta(N_\beta - \zeta)$
	$\beta$	=	3.9 MPa
	$\zeta$	=	0.003
	$\sigma^*_{01}$	=	0.451
	$N_\beta$	=	11.5
	$q_{ult}$	=	45.0
AASHTO (1996)	$q_{ult}$	=	$N_{ms} * U_c$
	$N_{ms}$	=	1.0000
	$U_c$	=	500 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ult}$	=	500.000 Kg/cm <sup>2</sup>
Criterio de comprobación	$q_{ad}$	<	$0.2 * U_c$
	$U_c$	=	500 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	100.0 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	$0.33 * f'c$
	$f'c$	=	210.0 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	69.3 Kg/cm <sup>2</sup>

3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

Ubicación: TUNEL 02 - ROCA TIPO IV - PICO

Criterio de resistencia Mohr Coulomb	$c'_m$	=	2.5 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\phi'_m$	=	42.9 °
Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown	$m_b$	=	0.625
	$s$	=	0.00013
	$a$	=	0.531
Parámetros de deformación	$E_m$	=	1677 MPa
Capacidad de soporte última	$q_{ult}$	=	44.4 Kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad admisible del macizo rocoso	$q_{ad}$	=	14.8 Kg/cm <sup>2</sup>
Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)	$\tau$	=	8.3 Kg/cm <sup>2</sup>

RESISTENCIA Y DEFORMACION DE LOS MACIZOS ROCOSOS	
Tesis	: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL 2 DE LA VÍA DE EVITAMIENTO - CIUDAD DE HUÁNUCO
Ubicación	: TUNEL 02 - ROCA TIPO IV - RESIDUAL
Litología	: GNEIS

1.0 Roca intacta

Peso específico	$\gamma_i$	:	0.025 (MN/m <sup>3</sup> )
Resistencia a la compresión uniaxial	$\sigma_{ci}$	:	50 (MPa)
Constante de la roca intacta	$m_i$	:	12.26
Relación modular	$MR$	:	300
Cohesión	$c_i$	:	4.10 (MPa)
Angulo de fricción interna	$\phi_i$	:	35.9 (°)
Módulo de elasticidad	$E_i$	:	15000 (MPa)
Relación de Poisson	$\nu_i$	:	0.3

2.0 Macizo Rocoso

Valoración de la masa rocosa, $RMR_{89}$ (Bieniawski, 1989)	:	15
Índice Geológico de Resistencia, $GSI$ (Hoek <i>et al.</i> , 1995)	:	15
Indice, $Q$ (Barton, 1974)	:	0.040
Espaciamiento de discontinuidades (m)	:	0.05
Factor de perturbación de la roca, $D$	:	0.2

2.1 Proyecto de ingeniería

Túneles	$z$ =	70 m
---------	-------	------

2.2 Estimación de las propiedades de resistencia

a) Criterio de resistencia Mohr Coulomb

Bieniawski (1976)	$c'_m$ =	0.7 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\phi'_m$ =	6.4 °
Con criterio de falla de Hoek-Brown	$c'_m$ =	1.7 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\phi'_m$ =	37.4 °

b) Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown

$m_b$	=	0.420
$s$	=	0.00004
$a$	=	0.56

Resistencia a la tracción ( $\sigma'_{tm}$ )

$\sigma_{tm}$	=	$-s \sigma_{ci} / m_b$
$\sigma_{tm}$	=	0.0 Kg/cm <sup>2</sup>

Resistencia a la compresión del macizo rocoso ( $\sigma'_{cm}$ )

	$\sigma_{cm}$	=	$\sigma_{ci} \cdot s^a$
(Inicio de ruptura)	$\sigma_{cm}$	=	1.7 Kg/cm <sup>2</sup>
(Ruptura global del macizo)	$\sigma_{cm}$	=	30.5 Kg/cm <sup>2</sup>

2.3 Estimación de las propiedades de deformación

a) Criterios de deformación de macizos rocosos (Modulo de deformabilidad,  $E_m$ )

- Bieniawski (1978), Serafim y Pereira (1983)	$E_m$	=	1334	MPa
- Kulhawy y Goodman (1980)	$E_m$	=	750	MPa
- Hoek (1995)	$E_m$	=	943	MPa
- Grimstad y Barton (1993)	$E_m$	=	-	MPa
- Gokceoglu et al. (2003)	$E_m$	=	387	MPa
- Hoek y Diederichs (2006)	$E_m$	=	470	MPa
Valor asumido	$E_m$	=	943	MPa

2.4 Esfuerzos *in situ*

$k$	=	1.00	En rocas fracturadas en superficie
$k$	=	1.50	En rocas no alteradas en superficie
$k$	=	0.43	En medios homogéneos e isotrópicos en función de m
$k$	=	1.0	Valor asumido
Esfuerzo vertical	$\sigma_v$	=	1.75 MPa
Esfuerzo horizontal	$\sigma_h$	=	1.75 MPa
Esfuerzo principal mayor	$\sigma_{1max}$	=	1.75 MPa
Esfuerzo principal menor	$\sigma_{3max}$	=	1.75 MPa

2.5 Carga admisible del macizo rocoso

Capacidad admisible ( $q_{ad}$ )

Hoek <i>et al.</i> (2002)	$q_{ult}$	=	30.5 Kg/cm <sup>2</sup>
Serrano y Olalla (2001)	$q_{ult}$	=	$\beta(N_\beta - \zeta)$
	$\beta$	=	2.6 MPa
	$\zeta$	=	0.002
	$\sigma^*_{01}$	=	0.668
	$N_\beta$	=	12.6
	$q_{ult}$	=	33.0
AASHTO (1996)	$q_{ult}$	=	$N_{ms} * U_c$
	$N_{ms}$	=	1.0000
	$U_c$	=	500 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ult}$	=	500.000 Kg/cm <sup>2</sup>
Criterio de comprobación	$q_{ad}$	<	$0.2 * U_c$
	$U_c$	=	500 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	100.0 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	$0.33 * f'c$
	$f'c$	=	210.0 Kg/cm <sup>2</sup>
	$q_{ad}$	<	69.3 Kg/cm <sup>2</sup>

3.0 Parámetros para el diseño en ingeniería

Ubicación: TUNEL 02 - ROCA TIPO IV - RESIDUAL

Criterio de resistencia Mohr Coulomb	$c'_m$	=	1.7 Kg/cm <sup>2</sup>
	$\phi'_m$	=	37.4 °
Criterio de Falla Generalizado de Hoek-Brown	$m_b$	=	0.420
	$s$	=	0.00004
	$a$	=	0.561
Parámetros de deformación	$E_m$	=	943 MPa
Capacidad de soporte última	$q_{ult}$	=	30.5 Kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad admisible del macizo rocoso	$q_{ad}$	=	10.2 Kg/cm <sup>2</sup>
Adherencia con el concreto (Littlejohn y Bruce 1975)	$\tau$	=	8.3 Kg/cm <sup>2</sup>